



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMÉDICAS

“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CARNE DE TRES RAZAS DE CONEJOS”

T E S I S
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

PRESENTA:
M.V.Z. LIZETH GARCÍA MEDINA

TUTOR:
M.C. SALVADOR CARLOS FLORES PEINADO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

COMITÉ TUTORAL:
DRA. SARA E. VALDÉS MARTÍNEZ
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
DRA. ISABEL GUERRERO LEGARRETA
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

MÉXICO, D.F. FEBRERO, 2015



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.

**La autora agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
(CONACYT) por la beca otorgada
así como a la
CÁTEDRA DE INVESTIGACIÓN PIAPIC 19
“Calidad de los Alimentos”
(Responsable Dra. Clara Inés Álvarez Manrique).**

ASESORES DE TESIS

M.C. SALVADOR CARLOS FLORES PEINADO

Profesor de Asignatura A

Departamento de Ciencias Pecuarias- Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública- Facultad de Medicina
Veterinaria y Zootecnia

Universidad Nacional Autónoma de México

PhD, IAFOSTF SARA ESTHER VALDÉS MARTÍNEZ

Profesor Investigador

Laboratorio de Tecnología de Calidad en Alimentos- Facultad de Estudios
Superiores Cuautitlán

Universidad Nacional Autónoma de México

DRA. ISABEL GUERRERO LEGARRETA

Profesor Titular C

Área de especialización: Bioquímica de Carne
Departamento de Biotecnología-Unidad Iztapalapa
Universidad Autónoma Metropolitana

MIEMBROS DEL JURADO

Presidente: MVZ. MCV. JOSÉ FERNANDO NÚÑEZ ESPINOSA

Profesor Investigador
Diplomado en Control Total de la Calidad
Área de especialización: Inocuidad y Calidad de los Alimentos
Calidad Total (SGC)
Jefe de Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública-Facultad de
Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Nacional Autónoma de México

Secretario: M.C. SALVADOR CARLOS FLORES PEINADO

Profesor de Asignatura A
Departamento de Ciencias Pecuarias- Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública- Facultad de Medicina
Veterinaria y Zootecnia
Universidad Nacional Autónoma de México

Vocal: MVZ. MCV. PATRICIA MORA MEDINA

Profesor de Carrera Asociado B
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
Universidad Nacional Autónoma de México

Primer suplente: DRA. MARÍA CONCEPCIÓN MÉNDEZ GÓMEZ HUMARÁN

Diplomado en Bienestar Animal
Diplomado en Bioética
Área de especialización: Inocuidad Alimentaria y Ciencia de la Carne
Profesora de Tiempo Completo-Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma de Querétaro

Segundo suplente: DRA. ROSY GABRIELA CRUZ MONTERROSA

Profesor Investigador Titular B
Departamento de Ciencias de la Alimentación
División de Ciencias Biológicas y de la Salud-Unidad Lerma
Universidad Autónoma Metropolitana

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

**A la vida
Al tiempo
A la esperanza
Gracias, muchas gracias...**

**A mi familia: bípeda y cuadrúpeda
Por apoyarme
Por acompañarme
Por guiarme
Por todo
Los amo
Gracias, muchas gracias...**

**A ti
Por levantarte de entre la incertidumbre
Por intentar ser mejor cada día
Por creer
Gracias, muchas gracias...**

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

**A mi querido Tutor
Por todo
Gracias, muchas gracias...**

**Al comité tutorial y miembros del jurado
Por sus consejos, tiempo y asesorías
En especial a la Dra. Isabel Guerrero Legarreta
Por abrirme las puertas de su laboratorio y brindarme su tiempo y
apoyo en mil asesorías
Gracias, muchas gracias...**

**A los doctores Marcelino E. Rosas García,
Eloísa Chino Rosario, Ma. del Pilar M. Martell Segura,
Jorge L. Rico Pérez
Por su apoyo, tiempo y facilidades brindadas para el
desarrollo este trabajo
Gracias, muchas gracias...**

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

A Lety

Por estar después de tantos años y locuras

Por soportarme

Por tu tiempo y ayuda porque sin ti esto no hubiera sido posible

Porque puedo llamarte amiga

Gracias, muchas gracias...

**A los catedráticos, laboratoristas, compañeros, trabajadores de la
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo I y IV**

**Por incrementar mi amor a la ciencia, la investigación y sobre todo
a la carrera más hermosa del mundo**

Gracias, muchas gracias...

A la Medicina Veterinaria y Zootecnia

A los animales

Gracias, muchas gracias...

**Encontrarse, de pronto, con las manos vacías,
con el corazón vacío,
con la memoria como una ventana hacia la obscuridad,
y preguntarse: ¿qué hice?, ¿qué fui?, ¿en dónde estuve?
Sombra pérdida entre las sombras,
¿cómo recuperarte, rehacerte, vida?**

**Nadie puede vivir de cara a la verdad
sin caer enfermo o dolerse hasta los huesos.
Porque la verdad es que somos débiles y miserables,
y necesitamos amar, ampararnos, esperar, creer
y afirmar.**

**SI SOBREVIVES, si persistes, canta,
sueña, emborráchate.
Es el tiempo del frío: ama,
apresúrate. El viento de las horas
barre las calles, los caminos.
Los árboles esperan: tú no esperes,
Este es el tiempo de vivir, el único.**

JAI ME SABINES

CONTENIDO

<i>ÍNDICE DE CUADROS</i>	V
<i>RESUMEN</i>	VII
<i>ABSTRACT</i>	VIII
<i>I. INTRODUCCIÓN</i>	1
<i>II. MARCO DE REFERENCIA</i>	3
2.1 ORIGEN Y CRIANZA DEL CONEJO.....	3
2.2 RAZAS DE CONEJOS.....	5
2.2.1 Nueva Zelanda.....	5
2.2.2 California.....	6
2.2.3 Chinchilla.....	6
2.2.4 Híbridos.....	6
2.3 CARNE DE CONEJO: ALIMENTO FUNCIONAL.....	7
2.3.1 Composición proximal de la carne de conejo.....	8
2.3.2 Aminoácidos esenciales.....	9
2.3.3 Minerales.....	9
2.3.4 Vitaminas.....	11
2.3.5 Ácidos grasos.....	11
2.4 ESTRUCTURA MÚSCULO-ESQUELÉTICA.....	13
2.4.1 Generalidades.....	13
2.4.2 Proteínas musculares. Generalidades.....	15
2.4.3 Proteínas musculares. Composición y estructura.....	15
2.4.4 Miosina.....	17
2.4.5 Actina.....	18
2.4.6 Actomiosina.....	18
2.4.7 Troponina y Tropomiosina.....	18

2.4.8. Proteínas de los filamentos gruesos.....	19
2.4.9 Proteínas estructurales del sarcómero.	20
2.4.10 Tejido conectivo. Colágeno.	20
2.5 FIBRAS MUSCULARES.	21
2.5.1 Clasificación de las fibras musculares.	22
2.5.2 Factores implicados en la composición de las fibras musculares.	24
2.5.3 Factores potenciales para manipular las características de las fibras musculares.	26
2.5.3.1 Raza y genotipo.	26
2.5.3.2 Género y Hormonas.	26
2.5.3.3 El crecimiento y la dieta.	28
2.5.3.4 Ubicación del músculo, ejercicio y temperatura ambiente.	29
2.6 CONVERSIÓN DE MÚSCULO A CARNE.	29
2.6.1 Paso I. Pérdida del aporte sanguíneo: disminución de los niveles de oxígeno y nutrientes.	31
2.6.2 Paso II. Sobreviene la glucólisis, el pH desciende.	32
2.6.3 Paso III. La apoptosis sobreviene: proteínas de choque térmico y caspasas.	33
2.6.4 Paso IV. Aparición del rigor: se pierde el control sobre los depósitos de calcio, las quininas son activadas y las proteínas fosforiladas.	34
2.6.5 Paso V. Proteasas calcio-dependientes e independientes escinden a las miofibrillas en el disco Z.	35
2.6.6 Paso VI. El papel controversial del estrés oxidativo en la promoción de la degradación miofibrilar.	37
2.6.7 Paso VII. La estructura muscular es alterada por la proteólisis y la desregulación en la homeostasis iónica.	38
2.7 CALIDAD DE LA CARNE.	38
2.7.1 Factores determinantes de calidad en la carne.	39
2.7.1.1 Características de calidad de la apariencia (AQT).	41
2.7.1.2 Características de calidad alimenticia (EQT).	42
2.7.1.3 Características de confianza de calidad (RQT).	43
2.7.2 Tipos de fibras musculares y su impacto en las características de calidad de la carne.	44

2.8 FACTORES CON INFLUENCIA SOBRE LA CANAL Y CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO.....	49
2.8.1 Factores con efecto moderado.....	49
2.8.1.1 Factores ambientales.	49
2.8.1.2 Técnicas de crianza.....	49
2.8.1.3 Tipo de alimentación.....	49
2.8.1.4 Tratamiento <i>ante-mortem</i>	50
2.8.1.5 Condiciones del aturdimiento.	50
2.8.2 Factores con efecto alto.....	51
2.8.2.1 Genética.....	51
2.8.2.2 Factores biológicos: edad y peso.....	51
2.8.2.3 Factores de alimentación.....	53
2.8.2.4 Factores tecnológicos.	54
2.9 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CARNE.....	55
2.9.1 Terneza.....	56
2.9.1.1 Medición de la terneza.....	58
2.9.2 pH.....	59
2.9.2.1 Medición del pH.....	60
2.9.3 Color.....	60
2.9.3.1 Color de la carne refrigerada. Mioglobina.	60
2.9.3.2 Color de la carne congelada.	62
2.9.3.3 Color de los productos cárnicos curados.....	63
2.9.3.4 Medición del color.....	63
2.9.4 Capacidad de retención de agua.....	65
2.9.4.1 Medición de la capacidad de retención de agua.....	67
2.9.5 Capacidad de emulsificación.....	68
2.9.5.1 Procesamiento de las emulsiones cárnicas.....	71
2.9.5.2 Factores asociados a la obtención de emulsiones cárnicas estables.....	72
2.9.5.3 Medición de la capacidad de emulsificación.....	73

<i>III. JUSTIFICACIÓN.....</i>	<i>75</i>
<i>IV. HIPÓTESIS.....</i>	<i>75</i>
<i>V. OBJETIVOS.....</i>	<i>76</i>
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	76
5.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	76
<i>VI. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</i>	<i>77</i>
6.1 MATERIALES Y MÉTODOS.....	77
6.1.1 ETAPA I.....	77
6.1.2. ETAPA II.....	77
6.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	80
6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	80
<i>VII. RESULTADOS.....</i>	<i>81</i>
<i>VIII. DISCUSIÓN.....</i>	<i>96</i>
8.1 RENDIMIENTO DE LA CANAL Y PESOS RELACIONADOS.....	96
8.2 PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO.....	99
<i>IX. CONCLUSIONES.....</i>	<i>107</i>
<i>X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</i>	<i>108</i>

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1	Clasificación taxonómica.....	3
Cuadro 2.3.1	Composición de nutrientes en la carne de conejo.....	8
Cuadro 2.3.2	Nutrientes presentes y aporte calórico de la carne de diversas especies.....	9
Cuadro 2.4	Proteínas del sarcómero.....	16
Cuadro 2.5	Fibras musculares: Clasificación histoquímica.....	23
Cuadro 2.6	Duración del <i>rigor mortis</i> en diferentes especies.....	31
Cuadro 2.7.1	Factores determinantes de calidad en la carne.....	40
Cuadro 2.7.2	Fibras musculares: Clasificación inmunohistoquímica e influencia en la calidad de la carne.....	48
Cuadro 2.9.1	Pigmentos hemo del músculo.....	61
Cuadro 2.9.2	Relación química entre los pigmentos de carne refrigerada.....	62
Cuadro 2.9.3	Distribución del agua en carne magra (%).....	65
Cuadro 6.1	Diseño experimental.....	80
Cuadro 7.1	Análisis de varianza de parámetros de Rendimiento de la Canal en tres razas de conejos (California, Nueva Zelanda y Chinchilla).....	82
Cuadro 7.2	Comparación del efecto Raza sobre el Rendimiento de la Canal y variables relacionadas: Prueba de Tukey.....	83
Cuadro 7.3	Comparación del efecto Género sobre el Rendimiento de la Canal y variables relacionadas: Prueba de Tukey.....	84
Cuadro 7.4	Interacción Raza (California)*Género sobre el Rendimiento de la Canal y variables relacionadas: Prueba de Tukey.....	85
Cuadro 7.5	Interacción Raza (Nueva Zelanda)*Género sobre el Rendimiento de la Canal y variables relacionadas: Prueba de Tukey.....	85
Cuadro 7.6	Interacción Raza (Chinchilla)*Género sobre el Rendimiento de la Canal y variables relacionadas: Prueba de Tukey.....	86
Cuadro 7.7	Comparación del efecto interacción Raza*Género (Machos) sobre el Rendimiento de la Canal y variables relacionadas: Prueba de Tukey.....	87
Cuadro 7.8	Comparación del efecto interacción Raza*Género (Hembras) sobre el Rendimiento de la Canal y variables relacionadas: Prueba de Tukey.....	88
Cuadro 7.9	Análisis de varianza de parámetros de Calidad de la Carne en tres razas de conejos (California, Nueva Zelanda y Chinchilla).....	89
Cuadro 7.10	Comparación del efecto Raza sobre parámetros de Calidad de la Carne de conejo: Prueba de Tukey.....	90
Cuadro 7.11	Comparación del efecto Género sobre parámetros de Calidad de la Carne de conejo: Prueba de Tukey.....	91
Cuadro 7.12	Interacción Raza (California)*Género sobre parámetros de Calidad de la Carne de conejo: Prueba de Tukey.....	92
Cuadro 7.13	Interacción Raza (Nueva Zelanda)*Género sobre parámetros de Calidad de la Carne de conejo: Prueba de Tukey.....	92

Cuadro 7.14	Interacción Raza (Chinchilla)*Género sobre parámetros de Calidad de la Carne de conejo: Prueba de Tukey.....	93
Cuadro 7.15	Comparación del efecto interacción Raza*Género (Machos) sobre parámetros de Calidad de la Carne de conejo: Prueba de Tukey.....	94
Cuadro 7.16	Comparación del efecto interacción Raza*Género (Hembras) sobre parámetros de Calidad de la Carne de conejo: Prueba de Tukey.....	95

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de la raza y el género en las características fisicoquímicas de la carne de conejo así como cuantificar las diferencias sobre el rendimiento y la calidad de la canal con el fin de proponer la raza con mejores atributos para la industria cárnica.

Este estudio se dividió en dos etapas para lo cual se seleccionaron tres razas cárnicas de conejos: California, Nueva Zelanda y Chinchilla, con 70 días de edad a la matanza; el efecto género también fue evaluado. En la etapa I se evaluó el peso vivo, peso canal caliente, rendimiento de la canal, peso piel y faneras, peso vísceras rojas, peso vísceras verdes así como el peso de espaldillas, lomo y piernas. La segunda etapa consistió en la evaluación de los parámetros de calidad física y química del músculo *longissimus dorsi* refrigerado por 24 horas, dentro de las variables evaluadas están: pH, terneza, color (L^* , a^* y b^*), capacidad de retención de agua y capacidad de emulsificación. Los resultados fueron analizados mediante la Prueba de Modelos Lineales Generalizados (GLM) obteniendo las medias de mínimos cuadrados, prueba de Tukey y análisis de varianza mediante el paquete de análisis estadístico SAS® (Statistical Analysis System, 2010), en un modelo que considera la raza, el género y la interacción entre estas variables.

Los resultados mostraron diferencias en el Peso Vivo entre la raza Chinchilla (CH) vs raza California (CAL) ($p < 0.009$) y Nueva Zelanda (NZ) ($p < 0.023$); el peso a la matanza reportado fue 1.939 ± 0.055 kg vs 2.141 ± 0.052 y 2.092 ± 0.037 kg para las razas CH, CAL y NZ, respectivamente. Esta diferencia también se vio reflejada sobre el Peso Canal Caliente de CH vs CAL ($p < 0.016$) y NZ ($p < 0.009$), sin que esto afectara el rendimiento de la canal (1.099 ± 0.037 en CH vs 1.226 ± 0.036 y 1.218 ± 0.025 kg para CAL y NZ, respectivamente). El peso del lomo tuvo tendencia a ser superior en la raza Nueva Zelanda (335.64 ± 14.24 g) así como el peso de las piernas (408.10 ± 13.10 g). El género no tuvo efecto sobre el rendimiento de la canal pero existió una tendencia a que las hembras tengan lomos (321.55 ± 11.62 vs 307.14 ± 11.62 g); espaldillas (345.89 ± 13.95 vs 321.43 ± 13.71 g) y, piernas (388.95 ± 10.69 vs 373.66 ± 10.69 g) más pesadas que los machos.

En el caso de las variables fisicoquímicas, la raza Nueva Zelanda es poseedora de carne más tierna (1.717 ± 0.04 kg/cm²), en comparación con la California (1.868 ± 0.04 kg/cm²) y Chinchilla (1.873 ± 0.04 kg/cm²). Resultados interesantes fueron reportados por el efecto género, donde la carne procedente de las hembras es más tierna (1.755 ± 0.03 vs 1.833 ± 0.03 kg/cm²) así como la Capacidad de Retención de Agua es superior (4.86 ± 0.02 vs 4.77 ± 0.02 mlH₂O/gcarne). Cabe destacar que la raza Chinchilla presentó la mejor capacidad de emulsificación (2.01 ± 0.10 mlaceite/gcarne) vs CAL (1.46 ± 0.11 mlaceite/gcarne) y NZ (1.50 ± 0.10 mlaceite/gcarne).

Palabras clave: conejo, raza, género, rendimiento de canal, calidad, terneza, capacidad de retención de agua, capacidad de emulsificación.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the influence of race and gender in the physicochemical characteristics of rabbit meat and quantify differences on performance and carcass quality in order to propose the race with better attributes for meat industry.

This study was divided into two stages for which three beef breeds of rabbits were selected: Californian, New Zealand and Chinchilla, 70 days old at slaughter; gender effect was also evaluated. In the first stage the measurements live weight, hot carcass weight, carcass yield, skin and appendages weight, red viscera weight, green offal weight and the weight of fore legs, loin and hind legs were evaluated. The second stage consisted of the evaluation of the parameters physical and chemical quality of the *longissimus dorsi* muscle refrigerated for 24 hours, within the evaluated traits were: pH, tenderness, color (L *, a * and b *), water holding capacity and emulsifying capacity. The analysis of tests results of Generalized Linear Models (GLM) in order to obtain the least square means, Tukey test and analysis of variance using the SAS® statistical analysis package (Statistical Analysis System, 2010), a model that considers race, gender and the interaction between these variables.

The results indicated differences in live weight between Chinchilla (CH) race vs Californian (CAL) ($p < 0.009$) and New Zealand (NZ) ($p < 0.023$); weight reported at slaughter was 1.939 ± 0.055 kg vs 2.141 ± 0.052 and 2.092 ± 0.037 kg for CH, CAL and NZ races, respectively. These differences were also reflected on hot carcass weight of CH vs CAL ($p < 0.016$) and NZ ($p < 0.009$), 1.099 ± 0.037 kg in CH vs 1.226 ± 0.036 kg and 1.218 ± 0.025 kg for CAL and NZ, respectively; without affecting the carcass yield. The weight of the loin tends to be higher in New Zealand (335.64 ± 14.24 g) race and the weight of the hind legs (408.10 ± 13.10 g). The gender has no effect on carcass yield but there is a tendency for females to had loins (321.55 ± 11.62 vs 307.14 ± 11.62 g); fore legs (345.89 ± 13.95 vs 321.43 ± 13.71 g) and hind legs (388.95 ± 10.69 vs 373.66 ± 10.69 g) heavier than males.

In case of the physicochemical traits, the New Zealand was the race with the more tender meat (1.717 ± 0.04 kg/cm²) compared with Californian (1.868 ± 0.04 kg/cm²) and Chinchilla (1.873 ± 0.04 kg/cm²). Interesting results was reported by gender effect, where the meat of females was more tender (1.755 ± 0.03 vs 1.833 ± 0.03 kg/cm²) and water holding capacity was higher (4.86 ± 0.02 vs 4.77 ± 0.02 mlH₂O/gmeat). Noteworthy that the Chinchilla breed presented the best emulsification capacity (2.01 ± 0.10 mloil/gmeat) vs CAL (1.46 ± 0.11 mloil/gmeat) and NZ (1.50 ± 0.10 mloil/gmeat).

Keywords: rabbit, race, gender, carcass yield, quality, tenderness, water holding capacity, emulsifying capacity.

I. INTRODUCCIÓN.

La definición de calidad de la carne varía ampliamente, dependiendo quien hable de ello: el procesador, el distribuidor o el consumidor, pero como el último es el juez final, su concepción es la más importante. La calidad de la carne no sólo incluye propiedades nutricionales, como las proporciones adecuadas de los compuestos bioactivos, proteínas, lípidos y sus subcomponentes esenciales; características sensoriales tales como ternura, sabor y color; saludable como la grasa y grasa saturada; factores tecnológicos como la capacidad de ser procesada, pero también las percepciones acerca de las condiciones de la producción animal en relación con el bienestar animal, el impacto de la producción en el medio y, por supuesto, la inocuidad alimentaria (Dalle-Zotte, 2002).

La composición de los tejidos animales y, por lo tanto, de las canales y los cortes comerciales (y las materias primas a base de carne), no sólo varían según la especie, sino también de acuerdo a la raza, edad, sexo, tipo de alimentación, etc. (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2013). La producción cárnica involucra numerosas especies domésticas, con diversos grados de popularidad, dependiendo no solamente de creencias religiosas o culturales sino también de razones prácticas y de disponibilidad. Las especies más populares en el mundo industrializado, sin incluir los peces y mariscos, comprende al ganado (*Bos taurus*, *Bos indicus* e híbridos), cerdos (*Sus scrofa*), ovejas (*Ovis aries*), cabras (*Capra hircus*), conejos (*Oryctolagus cuniculus*), pollos (*Gallus gallus*), ánades reales y patos (*Anas platyrhynchos* y *Cairina moschata*, respectivamente así como sus híbridos), el pavo (*Meleagris gallopavo*) y la codorniz japonesa (*Coturnix japonica*). Las especies menos conocidas son, sin embargo, muy importantes fuera del mundo occidental. Estas incluyen al búfalo de agua (*Bubalus bubalis*), el dromedario (*Camelus dromedarius*), el reno (*Rangifer tarandus*), cobayos (*Cavia porcellus*), gansos (*Anser anser*), así como las avestruces (*Stuthio camelus*) y otras aves corredoras. En términos generales los métodos de producción también varían considerablemente con las especies, la ubicación de la granja, la disponibilidad de recursos, etc. Existen numerosos factores a nivel de la granja con un impacto significativo en la producción de carne; sin embargo, se reconocen tres factores como los más significativos: la raza del animal; el sistema de alimentación y los factores de estrés a los que el animal se somete antes de la matanza (Paredi *et al.*, 2013).

Durante las últimas décadas, en todas las especies criadas para la producción de carne, la selección genética y la mejora de las condiciones de nutrición y crianza han llevado a un fuerte aumento en la eficiencia de la producción animal y la composición de la canal debido a la disminución de grasa de la canal y por el aumento del rendimiento muscular. Sin embargo, varios estudios han sugerido que esta práctica habría afectado negativamente a algunos aspectos de la calidad de la carne magra. Actualmente, los consumidores se centran en la calidad de la carne más que en la cantidad de ésta. La creciente comprensión de la relación entre la dieta, ingredientes alimentarios específicos y la salud está dando lugar a nuevos conocimientos sobre el efecto de los componentes de los alimentos en la función fisiológica y la salud. Esta concientización ha provocado que los consumidores se preocupen aún más por la salud, impulsando una tendencia hacia los alimentos saludables y nutritivos con funciones de promoción de la salud adicionales, tales como los alimentos funcionales (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2013).

Los cambios bioquímicos *post-mortem* en el músculo determinan la transición de músculo en carne y reflejan la complejidad biológica del proceso; esto se requiere para mejorar la comprensión de los procesos que ocurren en la determinación de la calidad de la carne. Al mismo tiempo, los cambios bioquímicos dependen del tipo y la composición de las fibras musculares. Análogamente, el conejo y su carne han sido poco investigados, a pesar de las propiedades benéficas de la carne de conejo que se reconocen ampliamente y que han sido revisadas recientemente (Ramírez *et al.*, 2004; D'Alessandro & Zolla, 2013).

En función de la demanda tan diversa, la calidad de la carne tiene diferentes definiciones; además, se sabe que está influenciada por numerosos factores tales como la genética, las condiciones pre-matanza y matanza, el procesamiento *post-mortem*, así como las condiciones nutricionales y ambientales en la etapa de crianza. En general, la calidad de la carne incluye muchos aspectos como el valor del pH, la grasa intramuscular, el color, la capacidad de retención de agua, la ternura, la jugosidad y el sabor. La calidad de la carne es un tema complejo y es difícil ser evaluada por un único parámetro; este es un nuevo desafío para las empresas y científicos, el mejorar el rendimiento de producción así como la calidad de la carne para satisfacer la creciente demanda de los consumidores de carne de alta calidad (Guo *et al.*, 2012).

II. MARCO DE REFERENCIA.

2.1 ORIGEN Y CRIANZA DEL CONEJO.

El origen y la evolución de los conejos es difícil de rastrear, debido a que sus huesos son pequeños y frágiles y con frecuencia son destruidos o reacomodados por los depredadores. Los registros fósiles trazan el orden *Lagomorpha* hacia atrás unos 45 millones de años en el período Eoceno tardío. Los leporídeos (conejos y liebres) parecen tener su origen en la Península Ibérica (España y Portugal) y el sur de Francia. Los lagomorfos modernos consisten en dos familias (*Leporidae* y *Ochotonidae*) con 12 géneros, tal como se describe en el cuadro 2.1. Todas las razas de conejos domésticos actuales son descendientes del conejo silvestre europeo, *Oryctolagus cuniculus* (McNitt *et al.*, 2000).

Cuadro 2.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Phylum- Chordata

Subphylum- Vertebrata

Clase- Mammalia

Subclase- Theria

Infraclase- Eutheria

Orden- Lagomorpha

Familia- <i>Leporidae</i>			
GÉNEROS	No. DE ESPECIES MODERNAS	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA NATURAL ACTUAL	EJEMPLOS
<i>Sylvilagus</i>	13	Norteamérica, Suramérica	Conejo de cepillo, conejo de pantano, de rabo blanco.
<i>Oryctolagus</i>	1	Europa, África del Norte	Conejo salvaje europeo, todas las razas domésticas
<i>Caprolagus</i>	1	India	Liebre Híspida (En peligro de extinción)
<i>Bunolagus</i>	1	Sudáfrica	Liebre Bushman (Tal vez extinguida)
<i>Poelagus</i>	1	África Central	Conejo Bunyoro
<i>Pronolagus</i>	2	Sudáfrica	Liebre Red-Rock
<i>Pentalagus</i>	1	Islas Amani (Japón)	Conejo Amani (En peligro de extinción)
<i>Romerolagus</i>	1	México	Conejo de los volcanes (En peligro de extinción)
<i>Nesolagus</i>	1	Sumatra (Indonesia)	Liebre de Sumatra (En peligro de extinción)
<i>Brachylagus</i>	1	Norteamérica	Conejo enano
<i>Lepus</i>	26	Eurasia, África, Norteamérica	Conejo Jack, Liebre europea, Liebre de la nieve
Familia- <i>Ochotonidae</i>			
<i>Ochotona</i>	14	Oeste de Norteamérica	Pika

Información tomada de McNitt *et al.* (2000) y Romans *et al.* (2001).

Los conejos se crían por una serie de razones, encontrándose prácticamente en todos los países. En algunos países como Gran Bretaña, Alemania y EUA, la cría de conejos para exposiciones y concursos tiene cierta importancia. Además, los conejos se utilizan en gran cantidad como animales de laboratorio en investigaciones biomédicas. Existen razas para fabricar prendas de lujo y trabajos artesanales. Muchos conejos se mantienen sencillamente como animales de compañía. La producción de conejos para carne ha sido importante durante mucho tiempo en los países de Europa Occidental como Francia, Italia y España; tradicionalmente, los conejos han sido criados por pequeños ganaderos en esos países, con el fin de proporcionar carne para sus familias e ingresos suplementarios (Cheeke, 1995).

El conejo doméstico tiene el potencial de convertirse en una de las principales especies de ganado del mundo; en el futuro, a medida que la población humana aumente la presión sobre los recursos alimentarios del mundo, es probable que los conejos asuman un papel cada vez más importante como fuente de alimento. Ellos poseen varios atributos que son ventajosos en comparación con otros tipos de ganado. El ritmo de crecimiento de los conejos puede ser de 35-40 g/día (en producciones de Europa y EUA) alcanzando los conejos el peso al mercado a las 8-10 semanas. En los países tropicales, el ritmo de crecimiento es menor, del orden de 10-20 g/día, lo que supone un período de tiempo mayor para alcanzar el peso de mercado, si bien sigue siendo una madurez muy rápida en comparación con los demás animales mantenidos en esos ambientes (Cheeke, 1995).

Los conejos pueden ser criados con éxito en dietas con bajo contenido de grano y alto en fibra; la investigación reciente ha demostrado que el crecimiento normal y el desarrollo reproductivo pueden ser alcanzados aún en las dietas que no tienen ningún tipo de grano. Los conejos son capaces de convertir forraje en carne de manera más eficiente que los animales rumiantes, como los bovinos: de una determinada cantidad de alfalfa, éstos pueden producir alrededor de cinco veces más carne que los bovinos (McNitt *et al.*, 2000). Pueden mantenerse perfectamente con alimentos que no compiten con los utilizados por el hombre, como los forrajes y subproductos de molinería; por ejemplo, la digestibilidad de la proteína de la harina de alfalfa es inferior al 50% en los cerdos y las aves, en tanto que llega al 70-75% en los conejos (Cheeke, 1995).

También, los conejos se reproducen durante todo el año, por lo que un suministro continuo de carne es posible con unos pocos animales de cría (McNitt *et al.*, 2000). El conejo, es uno de los animales más eficientes para producir carne, inmediatamente después del pavo y del pollo. En comparación con otras especies domésticas, el conejo aporta una buena cantidad de kilogramos de carne en proporción a su peso corporal y en función del tiempo de producción. En un año, la coneja vientre, que en el caso de las razas medianas tiene un peso corporal promedio de 4.5 kg, puede producir para el mercado, sin mucha exigencia, de 40 a 45 gazapos y si éstos son matados a los 2 kg de peso, se puede concluir que una coneja aporta de 80 a 90 kg de conejo en pie/año, lo cual significa que en este periodo ha multiplicado 17.77 veces su peso corporal (80/4.5) (Martínez-Castillo, 2004).

El rendimiento de las canales varía de 50-60% del peso en vivo y 75-80% de tal rendimiento es comestible; estas canales son de las de las razas medianas que se desarrollan adecuadamente con un promedio de 1.800 a 2.200 kg cuando son comercializadas en aproximadamente 9-11 semanas de edad. Hay varios factores que afectan el porcentaje de rendimiento de canal. Los conejos que son maduros y que han sido debidamente acondicionados para el mercado, darán un porcentaje más alto

que los más jóvenes. Aquellos con las costillas bien arqueadas y el pecho profundo, llevando el ancho y la profundidad del cuerpo de manera uniforme desde los hombros hasta la cadera, dan un rendimiento en canal superior a los animales largos y estrechos. Un lomo largo y bien desarrollado es deseable. Cuando los conejos están debidamente terminados para el mercado, la grasa se deposita sobre las costillas, a lo largo de la columna vertebral, en los flancos, y alrededor de la base de la cola y los riñones, aumentando el porcentaje de rendimiento de la canal sobre la de conejos delgados. La cantidad de material ingerido en el tracto digestivo también influye en este porcentaje. Si el animal ha estado sin comida ni agua durante varias horas antes de ser destinados para abasto, con una consecuente cantidad menor de material en el tracto digestivo, el porcentaje de rendimiento de la canal será mayor (McNitt *et al.*, 2000).

2.2 RAZAS DE CONEJOS.

El concepto de raza es relativamente reciente y en la mayoría de los casos las razas de los animales de granja fueron definidas y caracterizadas desde el siglo 19 en adelante. Antes de eso, los animales eran considerados de un determinado tipo que era definido por las características de la producción local y por la finalidad a la que ese animal era criado, para carne o leche, sólo por nombrar algunas razones. La adaptación a entornos particulares, pasturas locales y a las condiciones de producción podrían ser consideradas la llave en la formación de la raza; sin embargo, otros factores han sido relevantes, en especial el fenotipo de los animales y las características de su apariencia, tales como el color del pelaje, que en la mayoría de los casos son condiciones sine qua non para que un animal sea registrado en una raza en particular. Desde la década de 1960 en adelante, y sobre todo en las especies altamente productivas como en los cerdos y las aves de corral, las razas continuamente han perdido importancia en la producción industrial debido a "híbridos" comerciales y variedades diseñadas para mejorar la productividad y que se generalizaron en los países industrializados (Paredi *et al.*, 2013).

Existen muchas razas de conejos desarrollados con fines económicos; los criterios para clasificar a las mismas son muy variables pues se les ha agrupado de acuerdo a: a) su origen geográfico; b) su tamaño corporal; c) el color de la capa o pelaje; d) el tamaño y posición de las orejas; e) las características del pelaje; f) el color de los ojos; g) su potencial principal para la producción: carne, piel o pelo, etc. La mayoría de las razas denominadas medianas producen carne de buena calidad y alcanzan el peso corporal comercial (2 kg) a las 10-11 semanas de vida, además de que en general todas aportan pieles bien aceptadas en la industria peletera; es por ello que a estas razas también se les denomina de "doble propósito" (Martínez-Castillo, 2004).

2.2.1 Nueva Zelanda.

Para la producción comercial de carne, esta es la raza representativa. Cuenta con una serie de características deseables, incluyendo una tasa satisfactoria de crecimiento, calidad de la canal aceptable, buena prolificidad y buena habilidad materna. En general, poseen muchas características deseables para la producción de carne (McNitt *et al.*, 2000); es un conejo que acertadamente ha sido calificado como de doble propósito pues produce carne de buena calidad y piel de alto valor industrial, especialmente aquel de la variedad blanca. Es una de las razas más populares de México, es

una raza precoz, altamente prolífica con pesos vivos de 4.0 y 4.5 kg en machos y hembras, respectivamente (Martínez-Castillo, 2004).

2.2.2 California.

La otra raza principal de carne es la California (McNitt *et al.*, 2000), es una de las razas reconocidas más antiguas; ha sido denominada también como Himalayo, Chino o Polonés. Característicamente posee una capa de color blanco con marcas negras o habanas en el hocico, orejas, patas y cola. También se denomina de doble propósito pues produce carne de excelente calidad y una piel de alto valor comercial. Los pesos vivos son de 4.1 y 4.3 kg en machos y hembras, respectivamente (Martínez-Castillo, 2004). Es más pequeña y compacta que la Nueva Zelanda por lo que se tiende a finalizar en un peso más ligero, pero tiene un mayor rendimiento de la canal y mayor relación carne-hueso (McNitt *et al.*, 2000).

2.2.3 Chinchilla.

Esta raza es especializada en la producción de piel; tiene como país de origen Francia y fue obtenida mediante cruzamiento y selección utilizando como razas fundadoras al conejo ruso, Azul de Beveren y al conejo campesino francés. Produce una piel bien cotizada, aunque debe mencionarse también que es poseedora de una carne de excelente calidad, de tal manera que podrá considerarse de doble propósito. Se adapta prácticamente a todos los climas y manifiesta alta fecundidad. Los pesos vivos de machos y hembras son de 2.75 y 3.5 kg, respectivamente (Martínez-Castillo, 2004).

2.2.4 Híbridos.

La raza de conejo también puede influir en la calidad de la canal. Los Nueva Zelanda blancos, en general, son superiores a otras razas. Los de la raza California tienden a terminar en un peso más ligero que los de Nueva Zelanda, pero tienden a tener una mayor proporción de carne a hueso (McNitt *et al.*, 2000).

Es por esto que, los productores comerciales a menudo cruzan machos California con hembras Nueva Zelanda blancas, con el fin de producir animales alta calidad que combinan las mejores cualidades de ambas razas. Por lo tanto, para la producción comercial de carne, el Nueva Zelanda blanco y el California son tradicionalmente las razas de elección. Otras razas pueden tener potencial en ciertos mercados, aunque deben hacerse cuidadosas evaluaciones antes de que puedan ser ampliamente recomendadas. Razas como el Champagne d'Argent, Chinchilla, Dutch, Gigante de Flandes, Palomino y Satin se han utilizado en menor medida, ya sea para producir conejos mestizos de carne o razas puras (McNitt *et al.*, 2000).

2.3 CARNE DE CONEJO: ALIMENTO FUNCIONAL.

La creciente comprensión de la relación entre la dieta, ingredientes alimentarios específicos y la salud está dando lugar a nuevos conocimientos sobre el efecto de los componentes de los alimentos en la función fisiológica y la salud. Esta concientización ha provocado que los consumidores se preocupen aún más, impulsando una tendencia hacia los alimentos saludables y nutritivos con funciones de promoción de la salud adicionales, tal como los alimentos funcionales. Aunque no hay ninguna definición oficial de los alimentos funcionales, la propuesta por Diplock *et al.* (1999) es de uso general en la Unión Europea y considera que, un alimento es funcional cuando afecta beneficiosamente una o más funciones blancas en el cuerpo más allá de la nutrición adecuada, de una manera que sea relevante para la mejora del estado de salud, el bienestar y/o en la reducción del riesgo de enfermedad. Los alimentos se consideran funcionales debido a sus efectos (científicamente demostrados), no por su origen, y por lo tanto, la categoría de alimentos funcionales puede incluir tanto alimentos naturales (sin modificar) y alimentos en los que se ha añadido, suprimido o modificado (incluyendo la biodisponibilidad) un componente, por medios tecnológicos o biotecnológicos (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2013).

Este nuevo enfoque es especialmente interesante para la industria de la carne: el aumento de los problemas de salud con respecto a algunos componentes cárnicos en relación con las principales enfermedades crónicas de la sociedad, ofrece posibilidades además de crear desafíos. Los alimentos funcionales constituyen una excelente oportunidad para la industria de la carne, para mejorar la calidad y la imagen de ésta, no sólo para evitar la pérdida de ingresos por una percepción negativa sino también para lograr una necesaria diversificación de la actividad del sector, a través del desarrollo de productos con propiedades benéficas para la salud (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2013).

Debido a la cantidad y frecuencia de consumo, la contribución a la ingesta diaria de nutrientes diferentes, diversidad de presentaciones, posibilidad de modificación de su composición con ingredientes no cárnicos, alta aceptabilidad del consumidor, etc., la carne y los productos cárnicos son excelentes alimentos para llevar compuestos bioactivos sin cambiar los hábitos alimenticios. La carne y los productos cárnicos son generalmente reconocidos como alimentos altamente nutritivos que proporcionan valiosas cantidades de proteína (de alta calidad, que contienen aminoácidos esenciales para la salud humana), ácidos grasos, vitaminas (principalmente las del complejo B, siendo las principales fuentes de vitamina B₁₂), minerales (principalmente hierro y zinc de alta biodisponibilidad y manganeso) y otros compuestos bioactivos (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2013).

Además, los consumidores esperan que los productos cárnicos presenten el valor nutricional previsto, sean saludables, frescos y tengan una adecuada jugosidad, sabor y terneza. La carne de conejo es útil en las dietas humanas (Mačanga *et al.*, 2011), ya que presenta excelentes propiedades dietéticas y nutricionales (Dalle-Zotte, 2002) además de ser magra y de fácil digestión (Corino *et al.*, 1999). Una descripción más detallada de estos nutrientes se observa en el cuadro 2.3.1.

Esta carne tiene menos grasa (en promedio 6.8 g/100 g de carne fresca) y calorías (un promedio de 618 kJ/100 g de carne fresca), en comparación con las carnes rojas. El contenido de colesterol, entre las carnes más populares, tiene niveles más bajos, en promedio 53 mg/100 g de carne fresca (Mačanga *et al.*, 2011).

Cuadro 2.3.1 COMPOSICIÓN DE NUTRIENTES EN LA CARNE DE CONEJO

NUTRIENTE	CANTIDAD	MINERALES	CANTIDAD
PROTEÍNA CRUDA (%)	18.5	ZINC (mg/Kg)	54
GRASA (%)	7.4	SODIO (mg/Kg)	393
AGUA (%)	71	POTASIO (g/Kg)	2
CENIZAS (%)	0.64	CALCIO (mg/Kg)	130
ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS (% DEL TOTAL DE ÁCIDOS GRASOS)	63	MAGNESIO (mg/Kg)	145
COLESTEROL (mg/100 g)	136 (BASE EN PESO SECO)	HIERRO (mg/Kg)	29
VITAMINAS	CANTIDAD	AMINOÁCIDOS	EXPRESADOS COMO % DE PROTEÍNA
TIAMINA (mg/100 g)	0.11	LEUCINA	8.6
RIBOFLAVINA (mg/100 g)	0.37	LISINA	8.7
NIACINA (mg/Kg)	21.2	HISTIDINA	2.4
PIRIDOXINA (mg/Kg)	0.27	ARGININA	4.8
ÁCIDO PANTOTÉNICO (mg/Kg)	0.10	TREONINA	5.1
VITAMINA B12 (µg/Kg)	14.9	VALINA	4.6
ÁCIDO FÓLICO (µg/Kg)	40.6	METIONINA	2.6
BIOTINA (µg/Kg)	2.8	ISOLEUCINA	4.0
		FENILALANINA	3.2

Información tomada de McNitt *et al.* (2000).

2.3.1 Composición proximal de la carne de conejo.

La composición proximal de la carne de conejo demuestra que es rica en proteínas (alrededor del 22% cuando se considera el lomo – músculo *Longissimus dorsi* - y la carne de las patas traseras). Junto con su alto contenido de proteínas, ésta contiene altos niveles de aminoácidos esenciales (EAA). La porción de carne magra (contenido de agua y proteínas) es relativamente constante (73.0 ± 2.3 g de agua y 21.5 ± 1.4 g de proteína/100 g de carne) con una tendencia decreciente de la parte media (lomo) a la parte trasera y luego a la parte delantera de la canal. El contenido de minerales es también constante en alrededor de 1.2 a 1.3 g/100 g de carne. El corte más magro de carne en la canal conejo es el lomo, con un contenido de lípidos promedio de 1.8 g/100 g de carne, mientras que la porción más grasa son las patas anteriores (14% del Rendimiento de Canal), con un contenido promedio de lípidos de 8.8 g/100 g. El corte más importante cuantitativamente son las patas traseras, y su contenido en lípidos es bastante bajo (en promedio 3.4 g/100 g) en comparación con otras carnes (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011), tal como se muestra en el cuadro 2.3.2.

Por lo tanto, el contenido de lípidos depende en gran medida de la parte considerada, y también de los factores de producción, especialmente de la alimentación. Por otro lado, ofrece valores moderadamente altos de energía (de 603 kJ/100 g en el lomo a 899 kJ/100 g en las patas delanteras), que depende principalmente de su alto contenido de proteínas, lo que representa el 80% del valor energético. Por otra parte, la carne de conejo no contiene ácido úrico y tiene bajo contenido de purinas (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

Cuadro 2.3.2 NUTRIENTES PRESENTES Y APOORTE CALÓRICO DE LA CARNE DE DIVERSAS ESPECIES

COLESTEROL (mg/100 g) Conejo 30-50 Cerdo 60-65 Ternera 70-80 Cordero 75 Pollo 80-100	LÍPIDOS (g/100 g) Conejo 3-6 (0.6-14.4*) Pescado 3-15 Ternera 8-10 (3.1-14.6*) Pollo 9-11 (0.9-12.4*) Cordero 20-25 Cerdo 30-38 (3-22.1*)
PROTEÍNAS (g/100 g) Conejo 19-21 (18.1-23.7*) Pollo 20-21 (17.9-22.2*) Ternera 19-20 (18.1-21.3*) Cordero 16-18 Cerdo 19-20 (17.2-19.9*)	APOORTE DE CALORÍAS (cal/100 g) Pollo 150 Conejo 160 Ternera 170 Cordero 250 Cerdo 290
MINERALES (g/100 g) Conejo 1.3 Cordero 0.8 Pollo 0.7 Cerdo 0.7	HIERRO (mg/100 g) Conejo 4.7 Cordero 2.3 Pollo 1.8 (0.6-2.0•) Cerdo 1.7 (1.4-1.7•) Bovino 1.8-2.3•

Información adaptada: DeMayolas (2007); * Dalle-Zotte (2002) y •Dalle- Zotte & Szendrő (2011).

2.3.2 Aminoácidos esenciales.

Como se mencionó anteriormente, la carne de conejo contiene altos niveles de aminoácidos esenciales (EAA). En comparación con otras carnes, la carne de conejo es más rica en lisina (2.12 g/100 g), aminoácidos que contienen azufre (1.10 g/100 g), treonina (2.01 g/100 g), valina (1.19 g/100 g), isoleucina (1.15 g/100 g), leucina (1.73 g/100 g) y fenilalanina (1.04 g/100 g). Este contenido elevado y equilibrado de EAA y su fácil digestibilidad resulta en proteínas de alto valor biológico. Las proteínas del tejido conectivo se caracterizan por tener un valor biológico inferior y, su valor nutritivo es también inferior a pesar de su alta digestibilidad (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

2.3.3 Minerales.

HIERRO. El hierro del anillo heme en la carne tiene la ventaja de ser más disponible biológicamente que el hierro en los productos a base de plantas, que van desde 72 hasta 87% en carnes rojas y 56 a 62% en carne de conejo y cerdo. Al igual que otras carnes blancas, la carne de conejo contiene bajos niveles de hierro (1.3 y 1.1 mg/100 g en muslo y lomo, respectivamente) y zinc (0.55 mg/100 g en toda la canal y 1.1 mg/100 g en el muslo) (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

SODIO. La ingesta reducida de sodio (cloruro de sodio) se ha recomendado para limitar la hipertensión arterial, sobre todo en personas sensibles al sodio. La carne, como tal, es relativamente baja en sodio (50-90 mg/100 g), pero en los productos cárnicos puede ser tan alta como 2% en

salchichas y 6% en productos curados sin cocinar. Por esta razón, estos derivados de carne se deben consumir con cuidado. La carne de conejo se caracteriza por un contenido muy bajo de sodio: 37 mg/100 g en el lomo y 49.5 mg/100 g en las patas traseras lo que la hace especialmente adecuada en dietas de hipertensión (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

FÓSFORO. Es el segundo mineral más abundante en carnes, y la carne de conejo tiene un contenido alto (234 y 222 mg/100 g en los muslos y el lomo, respectivamente). La carne de aves de corral, cerdo y cordero tienen también bajos contenidos de fósforo: 200 mg/100 g, 174 mg/100 g y de 147 a 194 mg/100 g, respectivamente (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

SELENIO. Es un oligoelemento esencial debido a su papel en la regulación de diversas funciones fisiológicas como una parte integral de las selenoproteínas, algunas de las cuales (glutación peroxidasa - GSHPx- y tioredoxina reductasa) son parte del sistema de defensa corporal contra los antioxidantes (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011). En los humanos, la deficiencia de selenio se asocia con la disminución de la función inmune que resulta en un aumento de la susceptibilidad al cáncer, enfermedades cardiovasculares, distrofia muscular, diabetes, artritis, cataratas, accidente cerebrovascular, degeneración macular y otras enfermedades (Zhang *et al.*, 2010). Entre las carnes rojas, la carne de res y de ovino son buenas fuentes de selenio (17 y 14 μg /100 g, respectivamente), seguidas de la ternera y el cordero (<10 μg /100 g). Entre las carnes blancas, el pollo contiene un contenido apreciable (14.8 g/100 g) (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

La deficiencia de selenio es todavía un problema global, que impulsa a los gobiernos a buscar estrategias para mejorar su ingesta. Estas soluciones incluyen la suplementación directa del mineral, mejorar el contenido de selenio en el suelo y en la producción de alimentos ricos en éste (Zhang *et al.*, 2010). La selenometionina es una de las fuentes más comunes de selenio orgánico en los alimentos, porque se incorpora a las proteínas en general por el mismo codón como metionina; la carne puede ser enriquecida con selenio cuando se proporcionan niveles supra-nutricionales de selenometionina a los animales. Se ha demostrado que los suplementos de selenio en la dieta aumentan la concentración de éste en la carne de vacuno, pollos de engorda, cerdos, terneros y en los huevos. Los niveles de selenio en la carne de conejo varían ampliamente de acuerdo a la suplementación de selenio en la dieta, que van desde 9.3 hasta 15.0 μg /100 g en las dietas no suplementadas hasta aproximadamente 39.5 g/100 g con la suplementación de 0.50 mg de levadura de selenio/kg de alimento y de 24 a 29 μg /100 g con una suplementación de 0.40 mg de levadura de selenio o algas selenizadas/kg de alimento. Según la ingesta diaria recomendada (IDR) de selenio, 140 g de carne de conejo alimentado con selenio cubrirá el IDR para adultos. Múltiples estudios muestran que la carne de conejo fortificada con selenio podría contribuir significativamente a la ingesta del mineral por el ser humano, por lo que es un alimento con propiedades funcionales (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

ZINC. Además del selenio, el zinc también está contenido en enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa y glutación peroxidasa) en algunas especies animales, y por lo tanto los efectos de la suplementación de la dieta con zinc sobre la oxidación de la carne de conejo y el contenido mineral han sido investigados. Los estudios llevados a cabo mostraron que la adición de 200 mg de zinc/kg en la dieta no afectó la oxidación (TBARS) de carne de conejo cruda o cocinada y refrigerada (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

2.3.4 Vitaminas.

La carne es una fuente importante de vitaminas del grupo B biodisponibles. Las concentraciones varían significativamente, no sólo entre las carnes de diferentes especies, sino también entre los cortes de la misma especie. Dado que la vitamina B₁₂ se encuentra solamente en alimentos que provienen de animales, la deficiencia dietética de vitamina B₁₂ debido al vegetarianismo es cada vez mayor con un mayor riesgo de patologías del sistema nervioso y de anemia perniciosa. Dos microgramos de vitamina B₁₂/día/adulto se recomiendan para satisfacer los requerimientos diarios y, esto se puede lograr con 100 g de carne de vacuno o de cordero, mientras que 100 g de carne de conejo proporcionan tres veces la IDR de vitamina B₁₂. En cuanto a otros contenidos de vitamina B de la carne de conejo, en promedio, el consumo de 100 g de carne de conejo ofrece alrededor de 8% de los requerimientos diarios de vitamina B₂, el 12% de la vitamina B₅, el 21% de la vitamina B₆ y el 77 % de la vitamina B₃ (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

El problema principal relacionado con un mayor contenido de PUFAs en carnes es la tendencia de los ácidos grasos insaturados (principalmente aquellos con más de dos dobles enlaces) a oxidar y reducir la vida útil de la carne y el producto cárnico. El problema es aún más grave cuando la carne se trocea, se almacena durante mucho tiempo o se cocina. La oxidación lipídica es uno de los mecanismos mayormente involucrado en el desarrollo del sabor característico de la carne, pero también puede conducir a la formación de sabor a sobre-calentado, generar óxidos de colesterol y un menor valor nutricional. La formación de productos de oxidación también ha demostrado efectos sobre el envejecimiento, el cáncer y enfermedad cardiovascular (CVD). La tasa de oxidación de lípidos puede ser efectivamente retrasada usando vitaminas antioxidantes, como las A, C y E. El interés principal en la fortificación de la carne y productos cárnicos con acetato de α -tocoferol es su alta actividad antioxidante, su presencia en las membranas celulares del músculo reduce la oxidación de lípidos, y también está posiblemente involucrado en la limitación de la oxidación de proteínas. En consecuencia, la suplementación con vitamina E extiende la vida útil de la carne y también mejora las características de calidad como color, sabor y textura. Se han notificado otros posibles efectos de la fortificación con vitamina E, tales como un aumento en la capacidad de retención de agua y una reducción en el desarrollo de carne PSE en aves de corral y cerdos (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

2.3.5 Ácidos grasos.

La composición de ácidos grasos (FA) tiene un efecto considerable sobre la relación dieta/salud debido a que cada FA afecta a los lípidos plasmáticos de forma diferente. Los lípidos de la carne por lo general contienen menos del 50% de ácidos grasos saturados (SFA, de los cuales sólo el 25-35% tienen propiedades aterogénicas) y, hasta 65% (52.3% en bovinos, 60.5% en cerdos, 53.1% en terneras, 62.8% en pollos y 60.5% en conejos) de ácidos grasos insaturados (monoinsaturados, MUFA y poliinsaturados, PUFA). Por tanto, parece poco razonable describir la carne en general por ser un alimento altamente saturado, especialmente en comparación con otros productos (por ejemplo, ciertos productos lácteos). En general, los SFA aumentan los niveles de colesterol por lipoproteínas de baja densidad (LDL) en el plasma y por lo tanto aumentan el riesgo de CVD, mientras que los PUFA disminuyen los niveles de colesterol LDL. Por esta razón, existe mucho interés en el aumento de los PUFA, especialmente de cadena larga n-3, los cuales tienen muchos efectos benéficos conocidos en la carne y los productos cárnicos (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

Los PUFA de cadena larga- ω 3 han sido reconocidos como componentes esenciales para el crecimiento normal y el desarrollo en los animales. Este grupo de ácidos grasos incluye al ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5), ácido docosapentaenoico (DPA, 22:5) y ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6). Los ácidos grasos ω 3 están involucrados en la expresión génica (como segundos mensajeros) y en la vías de transducción de señales del monofosfato de adenosina cíclico para regular la transcripción de genes específicos; además, los ácidos grasos tales como el DHA también pueden contribuir al desarrollo del cerebro e hígado en los infantes y juegan un papel importante en la prevención y tratamiento de diversos tipos de enfermedades. Investigaciones han mostrado consistentemente que los ácidos grasos ω 3 pueden retrasar la aparición, inhibir la tasa de crecimiento y disminuir el tamaño y número de tumores. Los ácidos grasos ω 3 están posiblemente involucrados en la regulación de trastornos inflamatorios crónicos por la disminución de la producción de eicosanoides, citocinas y especies reactivas del oxígeno (ROS) y, por la inhibición de la expresión de moléculas de adhesión (Zhang *et al.*, 2010).

La fuente primaria de PUFA- ω 3 es el pescado y otros productos marinos. Sin embargo, existen muchas otras alternativas alimenticias ricas en PUFA disponibles e incluyen a la carne, leche y huevos de animales alimentados con dietas enriquecidas con ω 3 (Zhang *et al.*, 2010). La composición de FA en los tejidos musculares de animales monogástricos, como los cerdos, las aves de corral, los conejos y los peces, puede ser fácilmente alterada por la dieta y, por lo tanto, el contenido de PUFA podría aumentarse por la suplementación de las dietas con vegetales, como semillas de lino y aceite de colza o con aceites de pescado (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

La ingesta diaria de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga entre los diferentes países varía considerablemente: en los E.U.A. y Australia, el consumo promedio es de 140 y 190 mg/día, respectivamente, para los adultos, mientras que los japoneses consumen aproximadamente 1600 mg/día, esto debido a sus hábitos alimenticios de consumo de pescado (Zhang *et al.*, 2010). De acuerdo con la FAO/OMS, la dosis recomendada de PUFA esenciales en una dieta diaria saludable es de 5-10/1 (n-6/n-3). Una relación más baja es deseable para reducir el riesgo de muchas enfermedades crónicas, incluso si la relación óptima puede variar dependiendo de la enfermedad bajo consideración (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011).

En la carne de conejo, los ácidos grasos insaturados (UFA) representan alrededor del 60% del total de FA y, la cantidad de PUFA - lo que representa el 32.5% del total de FA - es mucho mayor que en otras carnes, incluyendo la de aves de corral. El ácido linoleico (18:2 n-6) es un ingrediente importante en la alimentación de todas las especies; derivado enteramente de la dieta, su incorporación en el tejido adiposo y muscular en proporción a la cantidad en la dieta es mayor que la de otros FAs. En la carne de conejo, representa el $22 \pm 4.7\%$ del total de FAs. En cuanto al contenido de colesterol, la carne de conejo contiene los niveles más bajos (47.0 y 61.2 mg/100 g), para el lomo y patas posteriores, respectivamente de todas las carnes más populares. Las diferencias en contenido de colesterol entre los tipos musculares han sido reportadas en otras especies y parecen estar relacionadas con diferencias en el tipo de fibra (Dalle-Zotte & Szendrő, 2011; Corino *et al.*, 1999).

2.4 ESTRUCTURA MÚSCULO-ESQUELÉTICA.

Los músculos esqueléticos de los vertebrados se componen principalmente de fibras musculares que se caracterizan por sus rasgos morfológicos, propiedades contráctiles y metabólicas (Tornberg, 2005). El músculo esquelético está formado por células largas, estrechas, multinucleadas, que miden desde unos pocos a varios centímetros de longitud y de 10 a 100 μm de diámetro (Tornberg, 2005; Fennema, 2000). Este patrón de estriación miofibrilar se repite con una periodicidad de aproximadamente 2 a 3 μm , y en el músculo de los vertebrados, el sarcómero es una estructura compleja que contiene al menos 28 proteínas diferentes (Choi & Kim, 2009).

2.4.1 Generalidades.

A pesar de que existen diferencias entre las fibras del músculo con relación a la cantidad de sarcoplasma y la cantidad y localización de los componentes de la membrana celular, existe a nivel celular una estrecha semejanza de los músculos esqueléticos de una gran variedad de organismos. Las fibras están dispuestas en paralelo formando haces y los grupos de haces forman el músculo. Envoltiéndolo todo el músculo existe una densa lámina de tejido conjuntivo, llamada epimisio. Desde la superficie interna del epimisio, parte del tejido conjuntivo penetra en el interior del músculo, separando los grupos de fibras en haces. La vaina de tejido conjuntivo que rodea los grupos de fibras se denomina perimisio y de éste parten finas láminas de tejido conjuntivo que rodean cada fibra muscular. Esta última capa o vaina se denomina endomisio. Las láminas de tejido conjuntivo se unen con grandes masas de los tejidos de los tendones en los extremos del músculo, que son los puntos que sirven para el anclaje del músculo al esqueleto. Los vasos del sistema circulatorio se localizan en el perimisio, en tanto que las pequeñas unidades (capilares) están localizadas en el endomisio (Fennema, 2000).

La superficie de la fibra muscular está formada por tres capas: la más externa es una red de fibrillas de colágeno, la lámina basal media compuesta de colágeno de tipo IV y proteoglicanos y la membrana plasmática más interna denominada sarcolema. Las invaginaciones de sarcolema forman el sistema transversal, denominado túbulos T. Los extremos de los túbulos T confluyen en el interior de la célula próximos a dos sacos terminales del retículo sarcoplásmico. El retículo sarcoplásmico es un sistema membranoso localizado en la célula (fibra) y, en general, con disposición paralela al eje principal de la célula. El encuentro del sistema T con el retículo sarcoplásmico (tríada) se produce en diferentes localizaciones intrafibra en los diferentes músculos. La unión triádica existe con más frecuencia en los discos o líneas Z o en su proximidad en los músculos de peces y en la unión de las bandas A e I en reptiles, aves y mamíferos. Las cisternas terminales de los elementos longitudinales (retículo sarcoplásmico) envuelven cada sarcómero como un collarín hueco. El collarín está perforado con agujeros y se denomina collar fenestrado (Fennema, 2000).

Los túbulos T extienden el sarcolema por el interior de la célula muscular, siendo esta disposición la que permite que la célula muscular responda como una unidad. La despolarización del sarcolema y de su prolongación intracelular (túbulos T) desencadena la liberación de calcio de los sacos terminales del retículo sarcoplásmico, vía una proteína denominada comúnmente canal de calcio. Esta liberación de calcio activa la ATPasa de las proteínas contráctiles y hace posible que se produzca la contracción. La

relajación se efectúa en parte como un proceso inverso mediante un secuestro de calcio por el retículo sarcoplásmico (Fennema, 2000).

Los principales componentes interiores de la fibra son las fibrillas (miofibrillas), que constituyen el aparato contráctil. La apariencia estriada característica del músculo esquelético se debe a la distribución repetitiva específica de las proteínas de las miofibrillas. Las bandas oscuras de las fibrillas son anisótropas o birrefringentes cuando se observan con luz polarizada. Por ser anisótropas se denominan “bandas A”. Las bandas que aparecen más claras son isotropas y, por tanto, se denominan “bandas I”. En el centro de cada banda I existe una línea oscura denominada línea Z o disco Z. El término Z se deriva del vocablo alemán “zwischen”, que significa entre. La principal proteína componente del disco Z es la α -actinina. La parte central de la banda A es una zona clara que se denomina zona H. Frecuentemente, en el centro de la zona H existe la línea M más oscura (Fennema, 2000).

Las fibras musculares constituyen el 75-92% del volumen total del músculo, y sostienen, estructuras largas filiformes, las miofibrillas, en el que el sarcómero, la unidad contráctil más pequeña, está alineado. El diámetro de las miofibrillas es de aproximadamente 1 μm y la longitud de un sarcómero es de aproximadamente 2.2 μm en un músculo en reposo (Tornberg, 2005). Un sarcómero se define como el material localizado entre dos discos Z adyacentes, a los que incluye y está formado por filamentos longitudinales gruesos y delgados. La banda A comprende filamentos gruesos (Fennema, 2000) (cuentan con 200-400 moléculas de miosina en cada filamento grueso, cada uno con 1.5 μm de largo y 130 Å de diámetro) (Tornberg, 2005) y, filamentos delgados (principalmente actina), en tanto que la banda I está compuesta de filamentos delgados. Los filamentos delgados se prolongan hacia derecha e izquierda de los discos Z en ambas direcciones y se solapan con los filamentos gruesos en partes de la banda A. La zona más clara de la banda A, la zona H, es un área donde los filamentos delgados no se solapan con los filamentos gruesos (Fennema, 2000).

El estado contráctil del músculo juega un papel importante en el tamaño de estas bandas y zonas, puesto que durante la contracción los filamentos delgados y gruesos se deslizan los unos sobre los otros. Durante la contracción, la longitud de la banda A permanece constante pero la banda I y la zona H se acortan. La línea M está localizada en el área de los filamentos gruesos en la que las proyecciones de las cabezas de la miosina no están presentes. La línea M sirve para mantener los filamentos en la posición geométrica correcta (Fennema, 2000).

La grasa intramuscular es el último tejido en ser desarrollado. Cualquiera que sea el tipo de músculo, el contenido de lípidos intramusculares aumenta muy débilmente desde el destete, luego fuertemente a partir de las 14 semanas de edad en adelante. La búsqueda de una adiposidad global limitada asociada con una alta relación de músculo/hueso y un satisfactorio rendimiento de la canal tiende a recomendar la matanza en conejos alrededor de 10-11 semanas de edad. Es no sólo en este período, cuando la acumulación de lípidos en el tejido adiposo perirrenal es todavía limitado, sino también mucho antes de la aceleración de depósitos de lípidos a nivel muscular (Carrilho *et al.*, 2009).

2.4.2 Proteínas musculares. Generalidades.

Una proteína se construye a partir de una larga cadena de aminoácidos, es decir, de una cadena polipeptídica. El lado variable de la cadena otorga a cada proteína su carácter distintivo. Hay tres categorías generales de cadenas laterales: no polar, polar pero sin carga y polar con carga. La acumulación de la cadena polipeptídica de las proteínas es la estructura primaria. Esta cadena de polipéptidos tiene conformaciones específicas en soluciones, las llamadas estructuras secundarias, es decir, alfa-hélice, beta-plegadas o espiral. La estructura terciaria y cuaternaria de las proteínas son la denominación de la estructura tridimensional y la asociación de entidades de proteínas en solución, respectivamente. La estabilización de estas estructuras de un dado sistema de proteínas depende principalmente de fuerzas no covalentes, tales como los enlaces de hidrógeno, las fuerzas de van der Waals, y de interacciones electrostáticas e hidrófobas. La formación de proteínas globulares es un ejemplo típico de como las interacciones hidrofóbicas estabilizan este tipo de estructura terciaria. Existe una fuerza motriz para las cadenas laterales hidrófobas no polares de una proteína al ser retiradas de un medio acuoso a uno no polar. Entre las proteínas de la carne, la mioglobina, que es la que brinda el color, es un ejemplo típico de una proteína globular. Otra forma estructural de las proteínas, que es altamente frecuente entre las proteínas de la carne, es la forma fibrosa. La actina, la miosina y el colágeno son las típicas proteínas fibrosas. Estas proteínas se construyen a partir de tres estructuras principales, a saber, α -hélice, β -plegada antiparalela y la triple hélice (esta última sólo en el colágeno). Para estabilizar estas estructuras la unión por puentes de hidrógeno es frecuente (Tornberg, 2005).

En temperaturas altas, si el grado de asociación de las entidades de proteína es demasiado grande, lo que conduce a una menor estabilidad coloidal del sistema, la solubilidad de las proteínas es baja y, se forma un precipitado. Si, al contrario, la asociación tridimensional de las proteínas se produce de tal manera que las fuerzas de atracción y de repulsión están tan bien equilibradas, entonces se forma una red tridimensional, un gel. Este gel se une al agua en una solución, principalmente por las fuerzas capilares. Los geles pueden a su vez variar de ser transparentes, conteniendo una red de hebras de pequeñas secciones transversales a geles opacos que contienen muchas más estructuras gruesas agregadas. Para las proteínas fibrosas la gran cantidad de puentes de hidrógeno e interacciones electrostáticas mantienen a las moléculas estiradas construyendo grandes bloques, donde las proteínas fibrosas participan, se rompen al calentarlas. Esto da a las moléculas una mayor libertad para formar cualquier configuración aleatoria, como impulsada por entropía. Dado que las proteínas son relativamente estiradas en la forma fibrosa, éstas se contraen con el calor, en contraste con las proteínas globulares, que se expanden (Tornberg, 2005).

2.4.3 Proteínas musculares. Composición y estructura.

El músculo se compone de 75% agua, 20% proteínas, 3% de grasa y 2% sustancias no proteicas. Fuera de este último 2%, los minerales y las vitaminas constituyen el 3%, las sustancias que contienen nitrógeno no proteico 45%, carbohidratos 34% y 18% los compuestos inorgánicos. Las proteínas se pueden dividir en tres grupos; miofibrilares, sarcoplásmicas y del tejido conectivo. Las proteínas miofibrilares constituyen entre el 50 y el 55% del contenido total de proteína, mientras que las proteínas sarcoplásmicas representan aproximadamente el 30-34%. El restante 10-15% son proteínas del tejido conectivo (Tornberg, 2005).

El cuadro 2.4 muestra las proteínas miofibrilares que se dividen a su vez en tres subclases: las proteínas fibrosas del miofilamento miosina y actina, responsables de la construcción de la estructura miofibrilar, las proteínas reguladoras incluyendo el complejo tropomiosina-troponina, α - y β -actinina, M-proteína y C-proteína y, en última instancia las proteínas de andamiaje, como la titina, nebulina, desmina, vimentina y sinemina, brindando soporte a toda la estructura miofibrilar (Tornberg, 2005).

Cuadro 2.4 PROTEÍNAS DEL SARCÓMERO

	TIPO DE MÚSCULO	NÚMERO DE AMINOÁCIDOS	PESO MOLECULAR
FILAMENTO DELGADO			
ACTINA	CONEJO	374	42.000
B-ACTINA			
BI	POLLO CONTRACCIÓN RÁPIDA		35.000
BII			31.000
TROPOMIOSINA			
α-TROPOMIOSINA	POLLO CONTRACCIÓN RÁPIDA	284	33.000
β-TROPOMIOSINA	POLLO CONTRACCIÓN RÁPIDA	284	36.000
TROPONINA			
C	POLLO CONTRACCIÓN RÁPIDA		18.000
I	CONEJO	179	20.900
T	POLLO CONTRACCIÓN RÁPIDA	274	30.500
FILAMENTO GRUESO			
MIOSINA			
CADENA PESADA	POLLO CONTRACCIÓN RÁPIDA	1.938	220.000
CADENA LIGERA ALCALINA			16.000-22.000
CADENA LIGERA DTNB			18.000
PROTEÍNA C	HUMANA/CONTRACCIÓN RÁPIDA	1.142	128.000
PROTEÍNA H	CONEJO		69.000
PROTEÍNA X	CONEJO		152.000
ESTRUCTURA DEL SARCÓMERO			
α-ACTININA	CONEJO, CONTRACCIÓN RÁPIDA		100.000
DESMINA			55.000
NEBULINA	CONEJO		700.000-900.000
TITINA	CONEJO		1.000.000
MIOMESINA			170.000
PROTEÍNA I	POLLO, CONTRACCIÓN RÁPIDA		50.000

Información tomada de Fennema (2000).

Las proteínas sarcoplásmicas son las proteínas solubles del sarcoplasma, al que pertenecen la mayoría de las enzimas de la vía glucolítica, la creatin cinasa y la mioglobina. Alrededor de 100 proteínas diferentes son conocidas por estar presentes en la fracción sarcoplásmica y son proteínas globulares de relativamente bajo peso molecular que oscila desde 17,000 (mioglobina) a 92,500 (fosforilasa b) (Tornberg, 2005).

2.4.4 Miosina.

En particular, la miosina es la proteína más abundante del músculo y sus isoformas se determinan por la reacción histoquímica de ATPasa; por lo tanto, los tipos de fibra a menudo se indican por el nombre de la isoforma de miosina que se expresa y, son generalmente considerados los marcadores moleculares del tipo de fibra muscular. Durante la contracción muscular, las isoformas de miosina trabajan junto con otras proteínas miofibrilares, especialmente la troponina y la tropomiosina, que tienen diferentes también varias isoformas. Basado en esto, la composición de las isoformas de las proteínas miofibrilares influyen en las propiedades contráctiles y bioquímicas del músculo, junto con el desarrollo del rigor *post-mortem* y, en consecuencia, en la calidad de la carne, en particular en la carne de cerdo, bovino, conejo y ovino (Choi & Kim, 2009).

La miosina (aproximadamente 520 kDa) es la proteína motora molecular más conocida. Las proteínas motoras moleculares son capaces de convertir la energía química en energía mecánica a través de un cambio estructural. La superfamilia de la miosina se agrupa en 15 clases, y las miosinas convencionales, como la miosina del músculo estriado, se designan como clase II. La molécula de la miosina de clase II se caracteriza en dos regiones funcionales: sus dos cabezas globulares (subfragmento 1) y una cola en espiral alfa-hélice. La cabeza globular (aproximadamente 900 aminoácidos) contiene el sitio catalítico para la hidrólisis de ATP y el sitio de unión para la actina. El dominio de la cola es de aproximadamente 150 nm de largo y 2 nm de diámetro y, está compuesta por cerca de 1000 aminoácidos, que son la columna vertebral del filamento grueso (Tornberg, 2005).

Las miosinas en el músculo esquelético son hexámeros que se componen de dos MHCs (miosinas de cadena pesada) y cuatro cadenas ligeras de miosina (MLCs). Cada una de las MHCs se asocia con dos isoformas de MLC, una que pertenece a la LC alcalina (también llamada la cadena ligera esencial, ELC), y una perteneciente a la LC reguladora (RLC). Estos pueden funcionar al hacer ajustes finos para la actividad motora de la miosina (Fennema, 2000; Choi & Kim, 2009).

En los mamíferos, al menos ocho distintas isoformas MHC clase II [Isoformas 1 o β /lentas, 2A, 2X, 2B, embrionaria (emb), neonatal (neo), α , y extraocular (exoc)] se expresan en células del músculo esquelético, que son codificadas por 8 genes independientes. Las primeros cuatro isoformas (1, 2A, 2X, y 2B) son las isoformas MHC predominantes en el músculo esquelético adulto. La isoforma MHC 1 se expresa en las fibras de contracción lenta del músculo esquelético y en el miocardio ventricular, y las tres isoformas rápidas (2A, 2X, y 2B) se expresan en las fibras de contracción rápida. Otras isoformas parecen expresarse en el músculo de una manera especie-específica. En el músculo esquelético, por ejemplo, las isoformas MHC emb y neo se expresan durante el desarrollo embrionario y perinatal, respectivamente. La isoforma MHC α se expresa en el músculo cardíaco, músculo masticatorio, y en algunas fibras musculares rojas. La isoforma MHC exoc es una isoforma rápida expresada sólo en los músculos extraoculares. Sin embargo, la isoforma MHC 2B no se expresa en los músculos de los bovinos, humanos o gatos, pero se expresa en los músculos de pequeños mamíferos tales como ratones, ratas y conejos, así como en los cerdos. En los mamíferos adultos, el músculo esquelético contiene tres isoformas de ELC, incluyendo una lenta (1s) y dos rápidas (1F, 3F), así como dos isoformas RLC formadas por una isoforma lenta (2s) y una rápida (2f) (Choi & Kim, 2009).

2.4.5 Actina.

La segunda proteína miofibrilar importante es la actina (Tornberg, 2005); es la proteína principal de los filamentos delgados y supone el 20% de la proteína miofibrilar del músculo. La actina está unida a la estructura del músculo con mucho más firmeza que la miosina. La forma de la actina se puede describir como de dos dominios, de igual tamaño situados uno al lado del otro (Fennema, 2000). La actina fibrosa (F-actina) se forma a partir de la polimerización longitudinal de la actina globular (forma-G, 47 000 Da). En solución a baja fuerza iónica la actina existe en la forma globular monomérica. Cuando se eleva la fuerza iónica, los monómeros se polimerizan en la estructura fibrosa, que consta de un doble, hélice trenzado, con un diámetro de 70 Angstroms (Tornberg, 2005).

Los monómeros de actina o G-actina se ensamblan en una doble estructura helicoidal denominada actina fibrilar, o F-actina, que constituye la porción principal del filamento delgado. La G-actina se liga muy firmemente al ATP y, en presencia de magnesio, se polimeriza espontáneamente a la forma F-actina, con la simultánea hidrólisis del ATP ligado para dar ADP ligado y fosfato inorgánico. Los filamentos de F-actina interactúan con la porción de cabeza de la miosina; vistos al microscopio electrónico, se ha observado que estos filamentos tienen polaridad. Los filamentos de actina se ensamblan con polaridades opuestas en relación a la unión con miosina, en cada lado del disco Z, lo cual permite que los filamentos gruesos de los sarcómeros adyacentes se desplacen hacia el disco Z (Fennema, 2000).

2.4.6 Actomiosina.

Cuando se mezclan actina y miosina *in vitro*, se forma un complejo denominado actomiosina. Este complejo puede disociarse por adición de ATP, como ocurre en el músculo vivo. La actomiosina es la forma principal de la actina y miosina en el músculo *post-mortem* debido a que se agota el ATP durante el metabolismo *post-mortem*. Sin embargo, contrariamente al músculo en pre-rigor, la simple adición a la carne de ATP y otros agentes solubilizantes como el Mg^{2+} no disocia toda la miosina de la actina y la extracción de miosina de la carne post-rigor es por tanto difícil. La miosina y la actomiosina se encuentran en los extractos de músculo *post-mortem* (Fennema, 2000).

2.4.7 Troponina y Tropomiosina.

Las isoformas de proteínas miofibrilares se expresan diferencialmente en distintos tipos de músculos y tipos de fibra, y pueden co-expresarse dentro de la misma fibra. Las fibras individuales con contenidos similares de isoforma MHC pueden tener propiedades funcionales variables. Estas variaciones se explican por otras isoformas de proteínas miofibrilares, especialmente de troponina y tropomiosina. La troponina y la tropomiosina son las principales proteínas de los filamentos delgados de las miofibrillas, y son complejos activados por calcio. Además, son fundamentales para la ultraestructura muscular además de ser componentes esenciales de la maquinaria de regulación de la contracción muscular (Choi & Kim, 2009).

La troponina (80 kDa) aporta el 5% de la proteína miofibrilar y es un complejo cooperativo de tres subunidades (la subunidad ligadora de calcio, TnC; la subunidad inhibidora, TnI y la subunidad de unión a la tropomiosina, TnT, que funciona con la tropomiosina en la modulación de la interacción entre la miosina y la actina durante la generación de fuerza en las fibras musculares esqueléticas. Las subunidades de troponina se expresan en un número de isoformas cuyos patrones difieren entre los tipos de fibras, y que contribuyen a las distintas propiedades contráctiles de los músculos esqueléticos. Dos isoformas TnC se expresan en el músculo esquelético: la isoforma TnC rápida y la TnC cardíaca/lenta. La isoforma TnC rápida exhibe dos sitios de alta afinidad y dos sitios de baja afinidad para la unión de calcio, mientras que la isoforma cardíaca exhibe dos sitios de alta afinidad y un sitio de baja afinidad. Por lo tanto, la función reguladora de la TnC se basa en la unión del calcio en sus sitios de baja afinidad. La TnI puede unirse a actina e inhibir la actividad de ATPasa de actomiosina. Esta inhibición es mayor en presencia de tropomiosina, y es reversible y sensible al calcio en presencia del complejo de troponina intacto. Los músculos esqueléticos contienen dos Isoformas TnI: rápidas y lentas. La TnT se une a TnC y TnI, y también a la tropomiosina en dos regiones diferentes. Uno de sus dos sitios de unión para la tropomiosina es cerca de los sitios de unión para TnC y TnI, y es sensible al calcio, mientras que el otro sitio es insensible al calcio. El patrón de isoformas de TnT es muy complejo; hay al menos seis isoformas en el músculo esquelético adulto, que consta de isoformas rápidas (1f, 2f, 3f, 4f) y lentas (1s y 2s) (Fennema, 2000; Choi & Kim, 2009).

La tropomiosina (65 kDa) representa el 5% de la proteína miofibrilar (Fennema, 2000). Es un polímero de proteína alargada, y se constituye por dos cadenas α -hélice dispuestas como una barra en espiral, que se envuelve alrededor del filamento de actina y parcialmente oculta el sitio de unión. En tal posición, los fragmentos S1 de la miosina se unen sólo débilmente, y no pueden crear un movimiento de potencia. Los filamentos de tropomiosina, que están formados de la cabeza a la cola por aproximadamente 35 dímeros de tropomiosina, contribuyen a la rigidez del filamento delgado y regulan las interacciones actina-miosina. Se expresan tres isoformas de tropomiosina en el músculo esquelético: las isoformas α -lenta, α -rápida, y β , que se pueden ensamblar como homodímeros $\alpha\alpha$ - o $\beta\beta$ - o heterodímeros $\alpha\beta$ -. En general, hay una mayor proporción de la isoforma α en fibras de contracción rápida (Choi & Kim, 2009). Esta proteína se agrega extremo con extremo y se fija a los filamentos de actina a lo largo de cada surco de la doble hélice de actina de tal modo que cada molécula interacciona con 7 monómeros de G-actina (Fennema, 2000).

Las fibras de contracción rápida y lenta difieren notablemente en sus propiedades de contracción, las cuales dependen de la sensibilidad del aparato miofibrilar al calcio. Esta dependencia al calcio está determinada principalmente por las proteínas reguladoras troponina y tropomiosina. Aunque los sitios reguladores de unión al calcio se encuentran sólo en las isoformas TnC, las combinaciones de TnT y las isoformas de tropomiosina contribuyen de manera importante a la sensibilidad a éste (Choi & Kim, 2009).

2.4.8. Proteínas de los filamentos gruesos.

La miosina es la principal proteína del filamento grueso y desempeña un papel fundamental en la contracción muscular. Sin embargo, también se encuentran otras proteínas con funciones biológicas menos definidas. Las proteínas X, C, y H aparecen como envueltas alrededor de la superficie del filamento grueso; esto ha hecho pensar que estos anillos de proteína protegen al filamento contra la

destrucción por las fuerzas tensiles o cambios del medio iónico. Sin embargo, esto no se ha confirmado como una función biológica. La fosfofructoquinasa (proteína F) también se encuentra en los filamentos gruesos; esta enzima es responsable de la conversión de la fructosa 6-fosfato en fructosa 1,6-difosfato en la ruta glucolítica (Fennema, 2000).

2.4.9 Proteínas estructurales del sarcómero.

α -actinina. Se localiza exclusivamente en el disco Z, formada por dos subunidades polipeptídicas. Es un miembro de la familia de las proteínas que se unen a la F-actina; su función aparente es proporcionar estructura a la línea Z (Fennema, 2000).

β -actinina. Es una proteína dimérica formada por polipéptidos de 35.000 y 31.000 D. Se une a la F-actina e inhibe la recombinación de la F-actina fragmentada. Está localizada en el extremo libre de los filamentos delgados y tal vez participe en la regulación de la longitud de éstos (Fennema, 2000).

Desmina. Es una proteína que forma filamentos de una longitud de 10 nm (intermedia); esta proteína es parte del citoesqueleto. Los filamentos intermedios de desmina se encuentran en la periferia de cada línea Z y son el enlace que conecta las miofibrillas adyacentes (Fennema, 2000).

Miomesina. Es la proteína principal de la línea M. Tiene 165.000 D y supone el 3% de la proteína miofibrilar. La función propuesta para esta proteína es mantener adecuadamente los filamentos gruesos (Fennema, 2000).

Titina. Esta proteína que tiene una elevada masa molecular ($\approx 1.000.000$ D) y elasticidad ($0.9-1 \mu\text{m}$) como para extenderse desde la línea Z a la línea M abarcando la mitad del sarcómero. Es la tercera más abundante de las proteínas miofibrilares, representando un 10% del total; interacciona con la miosina, las proteínas de la línea M y la α -actinina. Se cree que la titina participa en la regulación de la longitud de los filamentos gruesos y en el mantenimiento de la continuidad mecánica de las miofibrillas del músculo estriado (Fennema, 2000).

Nebulina. Esta proteína supone el 5% de la proteína miofibrilar; tiene múltiples lugares de unión a la actina y diversas longitudes de acuerdo con la longitud del filamento delgado. Al parecer funciona regulando la longitud del filamento delgado (Fennema, 2000).

2.4.10 Tejido conectivo. Colágeno.

El tejido conectivo está formado por diversas fibras, varios tipos de células diferentes y la sustancia fundamental amorfa (también denominada lámina basal). El tejido conectivo mantiene y soporta a los músculos mediante los tendones, epimisio, perimisio y endomisio. Este tejido contiene diversos tipos de células entre otras, fibroblastos, células del mesénquima, macrófagos, células linfoides, células cebadas y eosinófilos (Fennema, 2000).

El colágeno es la principal fracción del tejido conectivo; este componente es muy importante debido a que contribuye de manera significativa a la dureza del músculo en los mamíferos; alcanza un tercio o más del total de las proteínas de los mamíferos. Alrededor del 10% de la proteína del músculo es colágeno. El monómero de colágeno es una glucoproteína cilíndrica, larga, de unos 2.800 Angstroms de longitud y 14-15 Angstroms de diámetro, con un peso molecular de 300,000. Está formado por tres cadenas polipeptídicas unidas entre sí formando una súper-hélice. Las moléculas de tropocolágeno se agregan para formar fibras extendidas en el epimisio y perimisio o bien, principalmente como una matriz estructural en el endomisio. El colágeno existe en varias formas genéticamente diferentes (I-V), que están presentes en el músculo (Fennema, 2000).

Tipo I. Formado por dos cadenas polipeptídicas idénticas denominadas $\alpha 1$ (I) y una tercera cadena $\alpha 2$ que tiene una secuencia de aminoácidos distinta. Cada cadena tiene una masa molecular de unos 100.000 D. las tres cadenas se mantienen unidas entre sí por enlaces de hidrógeno. Se ha señalado su presencia en el epimisio y perimisio de los músculos (Fennema, 2000).

Tipo III. Formado por tres cadenas idénticas $\alpha 1$ con enlaces disulfuro intramoleculares en el péptido carboxi-terminal no helicoidal. Se encuentra en el perimisio y endomisio de los músculos y al parecer juega un papel muy importante en la dureza de los músculos de los mamíferos (Fennema, 2000).

Tipo IV. Un tercio más largo que los tipos I y III; contiene residuos de cisteína oxidables. Rico en hidroxiprolina e hidroxilisina. Cuenta con una región globular no helicoidal en el C-terminal. Localizado en el endomisio muscular (Fennema, 2000).

Tipo V. Rico en hidroxiprolina e hidroxilisina pero no contiene cisteína. De la misma longitud que los tipos I y II (este no se encuentra en la carne) y está formado por dos o tres tipos diferentes de cadenas polipeptídicas. Se encuentra en el endomisio muscular (Fennema, 2000).

En algunos casos las hebras simples de polipéptidos que constituyen el colágeno forman enlaces cruzados entre sí de tipo covalente. Cuando dos péptidos se unen de esta forma constituyen lo que se llama el componente β ; sin embargo, cuando están unidos los tres, el producto se conoce como componente γ . La solubilidad del colágeno disminuye a medida que aumentan los enlaces cruzados intermoleculares. A medida que los animales envejecen, el número de enlaces cruzados aumenta, lo cual explica parcialmente porque la carne de los mamíferos viejos es más dura que la de los animales jóvenes, a pesar de que los músculos de los animales más jóvenes generalmente contienen más colágeno (Fennema, 2000).

2.5 FIBRAS MUSCULARES.

En general, los músculos se componen de una combinación de diferentes tipos de fibras, las proporciones están relacionadas con la función muscular y la localización anatómica: músculos implicados en la postura son más oxidativos que los que participan en los movimientos. Aparte del tipo de músculo, la composición de la fibra muscular depende de la especie, la genética, la dieta, la actividad física y otros factores productivos y ambientales (Ramírez *et al.*, 2004).

Debido a que las fibras musculares ocupan el 75-90% del volumen muscular, su morfología es un factor determinante de la masa muscular. La morfología de la fibra muscular está representada por:

- El número total de fibras (TNF),
- El área de sección transversal de la fibra muscular (CSAF) y,
- La longitud de la fibra muscular (Tornberg, 2005).

El potencial del crecimiento muscular está muy relacionado con TNF y CSAF. Las características contráctiles de los músculos son diferenciadas por tipos de fibras musculares que tienen metabolismos oxidativo y/o glucolítico en el músculo esquelético en vivo y/o en la canal. La variedad de tipos de fibras musculares se correlaciona con su tamaño, color y contenido de glucógeno y lípidos (Tornberg, 2005).

En general, las fibras musculares se clasifican de acuerdo a sus propiedades contráctiles y metabólicas. De hecho, todos los tipos de fibras se observan en la mayoría de los músculos. Su composición relativa en los diferentes músculos puede determinar el predominio de las propiedades metabólicas musculares. La composición del tipo de fibra varía también en los tipos de músculos, dependiendo de su función contráctil y bioquímica. Muchos estudios han demostrado los efectos de los factores intrínsecos y extrínsecos en la variación de la fibra muscular, como la selección, el género, la edad, la raza, las hormonas, y la actividad física. En general, los tipos de fibras musculares individuales presentan diferentes características contráctiles, metabólicas, fisiológicas, químicas y morfológicas. En consecuencia, la comprensión de cómo se caracterizan los tipos de fibras musculares y cómo estas características afectan el metabolismo muscular *ante- y post-mortem* tiene implicaciones en la calidad final de la carne (Lee *et al.*, 2010).

En particular, las propiedades metabólicas que generalmente se ven afectadas por la composición de la fibra, tienen influencia en la conversión de músculo a carne y, en la calidad final de ésta. Un factor crucial para determinar los tipos de fibras musculares es la constitución de las proteínas del músculo esquelético. Especialmente, las proteínas miofibrilares son responsables de las propiedades contráctiles de los músculos y la carne; una de las proteínas más abundantes es la miosina de cadena pesada (MHC). Los polimorfismos de las MHC se han identificado en varios mamíferos. Muchos estudios han descrito que los contenidos de isoformas de la miosina se correlacionan fuertemente con la composición del tipo de fibra muscular. Sin embargo, estudios recientes mostraron que la variedad de isoformas en la composición de MHC es mayor que la del tipo de fibra muscular (Tornberg, 2005).

2.5.1 Clasificación de las fibras musculares.

Las fibras musculares pueden ser clasificadas en varios tipos. Sobre la base de las diferencias en la sensibilidad en el pH a la preincubación en la actividad de la actina-miosina ATPasa, se han determinado convencionalmente tres principales tipos de fibras mediante histoquímica en el músculo esquelético adulto, es decir, los tipos de fibras I, IIA y IIB. Las fibras musculares también pueden ser clasificadas como de contracción lenta roja (β R), de contracción rápida roja (α R) o de contracción rápida blanca (α W)(Cuadro 2.5); o, también, de contracción lenta oxidativa (SO), de contracción

rápida oxidativa glucolítica (FOG) o de contracción rápida glucolítica (FG), basado en reacciones histoquímicas de la capacidad oxidativa, utiliza la enzima succinato deshidrogenasa (SDH) y, de la capacidad glucolítica, usando la enzima NADH-tetrazolio reductasa (NADH-TR) (Choi & Kim, 2009).

La actividad ATPasa de la acto-miosina tiene una sensibilidad diferente en distintas condiciones de pH. Basándose en este principio, Brooke y Kaiser (1970) mostraron el método de clasificación mediante un rango de pre-incubaciones de pH y tres tipos de fibras principales que se han determinado convencionalmente por métodos histoquímicos en el músculo esquelético adulto, es decir, los tipos de fibras I, IIA y IIB. Aunque las fibras de tipo I muestran una baja actividad ATPasa después de la pre-incubación alcalina a pH 10.4, tiene una alta y estable actividad ATPasa después de la pre-incubación ácida a pH ya sea de 4.3 o 4.6. Por el contrario, en las fibras tipo IIB, la ATPasa pierde actividad después de la pre-incubación ácida a pH de 4.3. Además, el tipo IIA muestra una fuerte reacción después de la pre-incubación alcalina, pero no tienen reactividad después de la pre-incubación ácida a pH 4.3 o 4.6 (Lee *et al.*, 2010).

Los métodos de caracterización de la fibra muscular utilizando la enzima mitocondrial, succinato deshidrogenasa (SDH) y la reducción de la nicotinamida adenina dinucleótido (NADH)-tetrazolio reductasa, son útiles para clasificar las fibras en tres tipos principales: fibras rojas, blancas e intermedias. Las fibras rojas tienen una mayor actividad de enzimas oxidativas y relativamente exhiben una contracción más lenta. En contraste, las fibras blancas tienen tendencia de las propiedades glucolíticas por el consumo de glucosa en lugar de la respiración mitocondrial, por lo tanto, son de contracción rápida. Por otro lado, las fibras intermedias son intermedias entre las fibras rojas y blancas, y cuentan con capacidades metabólicas alternativas (Lee *et al.*, 2010).

Cuadro 2.5 FIBRAS MUSCULARES: CLASIFICACIÓN HISTOQUÍMICA

Rojas(α R)	Intermedias(α W)	Blancas(β W)
Fibras pequeñas, mayor actividad de enzimas oxidativas y contracción lenta.	Representan una mezcla de componentes de los otros dos tipos con capacidad tanto oxidativa como glucolítica	Fibras grandes con propiedades glucolíticas y de contracción rápida.
Ricas en mitocondrias, mioglobina y lípidos		Menor cantidad de mitocondrias y mioglobina
Mayor flujo sanguíneo		Menor flujo sanguíneo

Adaptado de Choi & Kim (2009) y Joo *et al.* (2013).

Los músculos de contracción rápida (de apariencia blanca o clara) muestran una progresión más rápida hasta alcanzar el pico de tensión y declinan a la tensión de reposo más lentamente que los músculos de contracción lenta (roja o de apariencia oscura). Los músculos de contracción rápida se encuentran en localizaciones anatómicas en las que se necesita un movimiento con fuerza, en tanto que los músculos de contracción lenta se asocian con la contracción larga y sostenida, esto es, para el mantenimiento de

la postura. Este aspecto está relacionado con el metabolismo energético. Los músculos de contracción rápida requieren de una fuente de energía más inmediata y, por tanto, es la glucólisis la ruta predominante utilizada por estos músculos. Los músculos de contracción lenta dependen principalmente del metabolismo oxidativo, lo cual exige más cantidad de mioglobina para almacenar oxígeno (Fennema, 2000).

Más recientemente, la utilización de inmunohistoquímica con anticuerpos poli- y monoclonales y el uso de la expresión de RNAm por hibridación *in situ*, han constituido herramientas de gran alcance para la tipificación de las fibras musculares (Choi & Kim, 2009). Los anticuerpos y la tinción de mRNA han llevado a reconocer cuatro miosinas de cadena pesada (MHC): I, IIA, IIX y IIB (Choi & Kim, 2009; Guo *et al.*, 2012).

Las características funcionales, estructurales y metabólicas de los cuatro principales tipos de fibras musculares difieren en los animales adultos. Las fibras tipo I, o de contracción lenta, generan energía para la re-síntesis de ATP predominantemente por transferencia de energía aeróbica. Cuentan con un bajo nivel de actividad de la ATPasa de la miosina y una capacidad glucolítica que está menos desarrollada que en las fibras de contracción rápida. Las fibras de contracción lenta tienen una banda Z más ancha que las fibras de contracción rápida, las fibras tipo IIB cuentan con la banda-Z más delgada. En la velocidad intrínseca de la contracción, las velocidades de acortamiento de las fibras de contracción rápida son aproximadamente tres veces más rápidas que las de las fibras de contracción lenta. Los tipos IIX y IIA muestran velocidades de acortamiento que son similares entre sí, pero son más lentas que las fibras de tipo IIB. Las fibras de tipo I contienen mitocondrias relativamente grandes y numerosas, mioglobina y citocromo que contiene hierro de la cadena de transferencia de electrones. Las altas concentraciones de enzimas mitocondriales y mioglobina también brindan una capacidad metabólica aeróbica mejorada (Choi & Kim, 2009).

Por otra parte, las fibras de tipo I contienen una mayor cantidad de lípidos, algunos de los cuales presumiblemente sirven como una fuente de combustible metabólico aeróbico; también contienen cantidades más bajas de glucógeno y glucosa que las fibras tipo IIB. Así, las fibras tipo IIB utilizan predominantemente glucosa como combustible. También, tienen un retículo sarcoplásmico y sistema de microtúbulos T más ampliamente desarrollado, los cuales son consistentes con su velocidad de contracción más rápida; sin embargo, son relativamente fatigados con facilidad. Por lo tanto, las fibras tipo II, sobre todo las IIB, tienen la capacidad de transferir rápidamente la energía para las acciones musculares rápidas y vigorosas. Por ejemplo, la tasa de desdoblamiento del ATP es de tres a cuatro veces más rápida en fibras IIB que en la tipo I, y los tipos IIA y IIX son intermedias. Además, el costo de la tensión, que es la relación entre la ATPasa y la tensión, es varias veces menor en las fibras I que en los tipos de fibras IIA, IIX, y IIB. Estos resultados implican que cuando los movimientos requieren la generación de energía mecánica, las fibras tipo I son energéticamente más económicas que las fibras IIA, IIX, y IIB (Choi & Kim, 2009).

2.5.2 Factores implicados en la composición de las fibras musculares.

Las características histoquímicas son principalmente el resultado de factores genéticos y ambientales. Klont *et al.* (1998); Ozawa *et al.* (2000); entre otros, han encontrado que hay diferencias por género relativas a las características de la fibra muscular. Las diferencias en el número y tamaño de las fibras

están principalmente bajo el control de las hormonas sexuales y, las diferencias en el número de fibras entre machos y hembras pueden surgir por la acción hormonal si las diferencias en las hormonas andrógenas son suficientemente altas durante los períodos de formación de fibras prenatal. Además, de acuerdo con Yoshioka *et al.* (2007), el tratamiento con testosterona en el periodo posnatal puede estimular la hipertrofia muscular de una manera directa o indirecta por la proliferación de células satélite y la síntesis de proteínas musculares, sin aumentar el número de fibras. El CSAF tiende a ser mayor en machos enteros que en hembras y machos castrados; aunque para cerdos, fibras parcialmente similares o más grandes se han reportado para las hembras que en machos enteros (Choi & Kim, 2009).

Existen marcadas diferencias en las características histoquímicas entre y dentro de los músculos. De acuerdo con Choi *et al.* (2006), el músculo *longissimus dorsi* porcino tiene un gran porcentaje de fibras tipo IIB (80-90%) y un pequeño porcentaje de fibras de tipo I (5-15%), mientras que el músculo *vastus intermedius* tiene un gran porcentaje de fibras I (70-80%). Por el contrario, los músculos *biceps brachii* y *brachialis* bovinos tienen altos porcentajes de fibras rojas de contracción lenta (aproximadamente 48.7 y 51.4%, respectivamente), con porcentajes más bajos en el *longissimus dorsi* y el *biceps femoris* (aproximadamente 22.3 y 10.5%, respectivamente). En cerdos, muchos músculos tienen una distribución única de fibras, donde las fibras de tipo I se agrupan y fibras IIA están en estrecha proximidad, y estos son a su vez rodeados por fibras IIB. Dentro del músculo, el área más profunda de éste tiene una mayor proporción de fibras tipo I y una mayor capacidad oxidativa que el área más hacia el exterior (Choi & Kim, 2009).

Las diferencias en las características de las fibras musculares se han encontrado entre razas. Por ejemplo, los perfiles metabólicos de los músculos *gluteus* y *longissimus dorsi* de diferentes razas de cerdos (Hampshire, Yorkshire y Landrace sueco) pueden diferir, aunque tienen composiciones similares de fibras. Además, Ryu *et al.* (2008) reportaron que las diferencias del tipo de fibras también pueden ocurrir entre las razas de cerdos. Ellos encontraron que el músculo *longissimus dorsi* de cerdos Berkshire tiene un mayor porcentaje de fibras de tipo I en comparación con las razas Landrace y Yorkshire. Por lo tanto, los cerdos Berkshire muestran mayor pH muscular y menor pérdida por goteo y luminosidad que otras razas (Choi & Kim, 2009).

Las fibras musculares son estructuras dinámicas capaces de alterar su fenotipo bajo diversas condiciones tales como el envejecimiento, perfiles hormonales alterados, y el ejercicio. La hiperplasia de la fibra muscular (un aumento en el número de fibras) se completa en el nacimiento, por lo tanto el crecimiento postnatal consiste en la hipertrofia (aumento del tamaño de la fibra). El desarrollo de las fibras musculares se puede clasificar en fibras de generación primaria y de generación secundaria. La etapa fetal de los mamíferos se caracteriza por la diferenciación de fibras que expresan fuertemente la isoforma lenta MHC, derivada de fibras primarias, y de las fibras que expresan fuertemente la isoforma MHC neonatal, derivadas tanto de fibras primarias y secundarias. En general, el músculo al nacimiento se compone de fibras oxidativas. Entonces, como se muestra en el músculo esquelético, las isoformas fetales de MHC desaparecen entre los 180 días de vida fetal y 21 días de vida postnatal en bovinos, entre 140 días de vida fetal y 28 días de vida postnatal en ovejas, y entre 0 y 30 días de vida postnatal en cerdos. Por otra parte, pocos días después del nacimiento, los RNAm de la isoforma rápida MHC pueden ser detectados. Por lo tanto, durante el crecimiento, la proporción de fibras oxidativas disminuye, mientras que la proporción de fibras glucolíticas aumenta. En general, el CSAF de todas las fibras aumenta durante el crecimiento, y las fibras IIB tienen un CSAF más grande que las de tipo I, incluyendo el músculo humano (Choi & Kim, 2009).

Dos grupos de fibras se han descrito en el conejo de acuerdo con su velocidad de contracción: fibras lentas (tipo I) y rápidas (tipo IIA, IIX y IIB). La velocidad de contracción de las fibras musculares está directamente relacionada con la composición específica de las isoformas de miosina cadena pesada, lenta (tipo I) y rápida (tipo IIA, IIX y IIB) (Ramírez *et al.*, 2004). El músculo *longissimus dorsi* contiene 98% de fibras de contracción rápida, de las cuales la mayoría son fibras glucolíticas α W y, 2% de fibras de contracción lenta oxidativas β R. Las fibras con un metabolismo oxidativo, ya sean de contracción rápida (α R) o lenta (β R) presentan un área de sección transversal media similar (1366 vs 1380 μm^2 , respectivamente), mientras que las fibras α W son más gruesas (1977 μm^2) (Dalle- Zotte & Ouhayoun, 1998).

2.5.3 Factores potenciales para manipular las características de las fibras musculares.

2.5.3.1 Raza y genotipo.

Uno de los factores más importantes que influyen en el TNF, CSAF y la FTC de un músculo determinado dentro de una especie es la raza. En general, los animales silvestres contienen más fibras oxidativas, menos fibras glucolíticas y fibras más pequeñas comparadas con las de los animales domésticos. La selección animal que se usa para aumentar la tasa de crecimiento y para obtener carne magra cambia el metabolismo del músculo hacia un tipo glucolítico blanco y menos hacia un tipo oxidativo rojo. Estudios realizados por Wimmers *et al.* (2008), señalan que existe una relación positiva entre una alta musculatura y una alta proporción de la MHC en diferentes razas de cerdos. Por lo tanto, hay que destacar que un aumento en el porcentaje magro de la canal está relacionado positivamente con el metabolismo glucolítico y oxidativo en el músculo *longissimus*, así como la tasa de crecimiento de tejido magro, aunque no hay correlaciones significativas entre el ritmo de crecimiento del tejido magro y la FTC. En consecuencia, existe una fuerte relación entre la FTC y el desarrollo cuando se comparan diferentes razas genéticas, pero esto es a menudo controvertido dentro de animales domésticos convencionales. Todos estos resultados implican que la FTC en el músculo podría ser manipulada por la cruce de animales (Joo *et al.*, 2013).

Por otra parte, la mejora progresiva en la calidad de la carne se puede lograr a través de la selección de animales que tienen el "gen calidad". Según Warner, Greenwood y Ferguson (2011), la interacción entre el genotipo y el ambiente contribuye a la variación fenotípica en las características de calidad de la apariencia y alimenticia de la carne y, el aumento de la masa muscular se puede lograr mediante la selección dirigida de mutaciones específicas, por ejemplo, el gen de la miostatina (Joo *et al.*, 2013).

2.5.3.2 Género y Hormonas.

Existen diferencias entre géneros en relación con las características de la fibra muscular, aunque Staun (1963), Rowe & Goldspink (1969) y Miller, Garwood & Judge (1975), no encontraron diferencias

por sexo en TNF, CSAF ni en FTC, respectivamente. La fibra IIA más pequeña en el *longissimus dorsi* de verracos indica que el TNF es mayor en cerdos machos comparados con las hembras. El CSAF de fibras tipo I, IIA y IIB es más pequeña en el músculo *longissimus dorsi* de cerdos machos enteros en comparación con las cerdas jóvenes. Esencialmente, las hembras presentan fibras más grandes y sin ninguna diferencia en porcentajes de tipos de fibras y las áreas relativas (Joo *et al.*, 2013).

Algunas hormonas tienen una profunda influencia en las características de las fibras musculares de músculos específicos. Las diferencias en TNF y CSAF son controladas principalmente por las hormonas sexuales. Las diferencias en el TNF entre machos y hembras pueden surgir por la acción hormonal si las diferencias en hormonas andrógenas son suficientemente altas durante el período prenatal de formación de fibras. Yoshioka, Boivin, Bolduc y St-Amand (2007) reportaron que el tratamiento con testosterona en períodos postnatales puede estimular la hipertrofia muscular de una manera directa o indirecta por la proliferación de células satélite y la síntesis de proteínas musculares, sin aumentar el TNF. Las diferencias hormonales, especialmente la testosterona, también pueden contribuir a las diferencias de género en tamaños específicos del tipo de fibra que afectan en última instancia, las concentraciones relativas de las isoformas de MHC (Joo *et al.*, 2013).

Los fenotipos de las fibras musculares se ven alterados dramáticamente por las hormonas tiroideas. El hipotiroidismo provoca transiciones rápidas-a-lentas, mientras que el hipertiroidismo induce transiciones en la dirección inversa. Muchos estudios muestran que los niveles bajos de hormonas tiroideas causan cambios rápidos-a-lentos en la expresión de la isoforma MHC:

MHC IIB → MHC IIX (D) → MHC II A → MHC I / lenta.

Mientras que los altos niveles de hormonas tiroideas inducen cambios de lentos-a-rápidos en la expresión de la isoforma MHC:

MHC I / lento → MHC II A → MHC IIX (D) → MHC II B.

Además, los niveles bajos de las hormonas tiroideas inhiben o retrasan la aparición de las fibras musculares de contracción rápida en adultos, mientras que los altos niveles aceleran la transición a partir de fibras en desarrollo a fibras de contracción rápida en adultos (Joo *et al.*, 2013).

De acuerdo con Ryu, Choi, Ko & Kim (2007), las concentraciones del factor de crecimiento-I similar a la insulina en suero (IGF-I) se relacionan negativamente con la composición de las fibras tipo I, mientras que el factor de crecimiento epidérmico sérico se correlaciona positivamente con la composición de las fibras I. La proporción de fibras tipo IIB tiene una correlación positiva con la expresión de IGF-I (Joo *et al.*, 2013).

En dietas con β -agonistas para corderos, la hipertrofia muscular está asociada a un aumento selectivo del CSAF de fibras glucolíticas, mientras que los efectos sobre la FTC no son claros. En cerdos, el tratamiento con β -agonistas aumenta la frecuencia de fibras tipo IIB, principalmente a expensas de fibras IIA, lo que resulta en menor actividad de las enzimas oxidativas (Joo *et al.*, 2013).

2.5.3.3 El crecimiento y la dieta.

Las características de las fibras musculares son significativas para el crecimiento. En la mayoría de los animales de granja, la miogénesis es un fenómeno bifásico que implica una diferenciación sucesiva de una generación primaria y secundaria de miotúbulos durante el período fetal. El número de fibras de generación secundaria varía según el período de gestación o el peso del feto de los animales. En general, se considera que el TNF se ha de establecer por el 90 día de gestación del feto (es decir, después del 80% de gestación) en el cerdo y el 180 día de gestación del feto (es decir, después del 66% de gestación) en el ganado bovino. La etapa fetal de los animales se caracteriza por la diferenciación de fibras que expresan fuertemente la isoforma lenta de MHC derivada de fibras primarias y, de fibras que expresan fuertemente la isoforma neonatal de MHC derivada de fibras primarias y secundarias (Joo *et al.*, 2013).

El CSAF permanece constante durante la gestación, pero la FTC cambia dramáticamente en mayor medida a fibras glucolíticas que fibras oxidativas después del nacimiento. Al nacer, el músculo se compone de fibras oxidativas y RNAm de la isoforma rápida de MHC se pueden detectar unos pocos días después del nacimiento. La proporción de fibras oxidativas disminuye mientras que la proporción de fibras glucolíticas aumenta durante el crecimiento (Joo *et al.*, 2013).

El TNF, CSAF y la FTC son factores que afectan el crecimiento muscular y la calidad de la carne. El tamaño de los diversos tipos de fibras en el músculo *longissimus dorsi* aumenta a diferente velocidad, mientras que el CSAF de todas las fibras se incrementa durante el crecimiento; el diámetro de las fibras tipo II se aumenta más rápido que las de tipo I. Carter *et al.* (2010), reportaron que la rápida expresión de MHC aumentó durante el envejecimiento en el músculo *soleus* de ratas debido a un marcado aumento en fibras que co-expresan las isoformas tanto rápida como lenta de MHC. Recientemente, Kim, Kim *et al.* (2013), reportaron una disminución en las fibras I y IIA y un aumento de fibras IIB con el aumento de peso de la canal de cerdo. En el rango de peso de la canal de 70 a 109 kg, el diámetro del tipo IIB se correlaciona positivamente con la zona del ojo del lomo y el peso de la canal y, un peso excesivamente alto de la canal tiene una influencia en la presentación de carne pálida y exudativa debido a las características de las fibras musculares, en especial al aumento del tipo IIB (Joo *et al.*, 2013).

El TNF y CSAF están negativamente correlacionados entre sí, y la masa muscular está estrechamente relacionada con CSAF a un TNF constante. Sin embargo, cuando cerdos de bajo peso al nacimiento son comparados con cerdos de peso normal, el CSAF muestra una correlación negativa con el contenido de carne magra en la canal y los cerdos con bajo peso tienen un TNF bajo, mayor CSAF, mayor contenido de IMF y un contenido de carne magra disminuido en comparación con las canales de los cerdos con peso normal al nacimiento. Estas diferencias implican que los cerdos de bajo peso al nacer inducen a una mayor madurez fisiológica y, la hipertrofia de las fibras musculares se logra antes debido a un menor TNF. Por lo tanto, un alto TNF combinado con CSAF normal se sugiere como una forma de aumentar el potencial de crecimiento muscular sin disminuir la capacidad oxidativa que podría ser inducida por una excesiva hipertrofia de la fibra muscular (Joo *et al.*, 2013).

Por otro lado, un nivel adecuado de energía y el balance de nutrientes juegan un papel importante en la determinación de la tasa de crecimiento y la eficiencia de la alimentación en el feto, así como en el

periodo post-natal. Durante el período fetal, la desnutrición disminuye específicamente el número de fibras secundarias, lo que conduce a una disminución permanente del potencial post-natal de crecimiento muscular. Por el contrario, el exceso de alimentación de la cerda entre los 25 y 50 días de gestación puede incrementar el número total de fibras de los cerdos en desarrollo. En cerdas lactantes, una disminución selectiva en CSAF de fibras glucolíticas, y un aumento en la relación CSAF de fibras tipo I se encuentran en el músculo *longissimus*. En corderos, la restricción de alimento induce atrofia de las fibras musculares y el aumento del porcentaje de fibras tipo I a expensas del tipo IIB. En consecuencia, el control de la dieta es otra herramienta potencial que se puede combinar con el rendimiento del crecimiento en diferentes sistemas de crianza para manipular características de las fibras musculares en relación con la calidad de la carne (Joo *et al.*, 2013).

2.5.3.4 Ubicación del músculo, ejercicio y temperatura ambiente.

Es bien sabido que las características de la fibra muscular se ven afectadas por el tipo de músculo, su ubicación y su función dentro del animal. Básicamente, las características histoquímicas de la fibra muscular dependen de la ubicación y la función muscular en los animales. En general, un alto grado de fibras tipo IIB se encuentran en los músculos *longissimus dorsi*, *gluteus medius*, *biceps femoris*, *cuadriceps femoris*, *vastus lateralis*, y *semimembranosus*. Ejemplos de músculos porcinos que contienen un alto grado de fibras I y IIA son: *masseter*, *trapezius* y *triceps brachii*. En los músculos de la especie bovina, *longissimus* y *semimembranosus*, poseen una alta proporción de fibras, mientras que un alto grado de fibras tipo I se encuentran en el *psoas major*, *biceps brachii* y músculos braquiales (Joo *et al.*, 2013).

Generalmente, los músculos profundos involucrados en el mantenimiento de la postura son más oxidativos y contienen más fibras de tipo I que los músculos más superficiales que participan en los movimientos rápidos. Aunque las fibras musculares son estructuras dinámicas que presentan una alta plasticidad, éstas se someten a cambios siguiendo una vía obligatoria:

$$I \leftrightarrow IIA \leftrightarrow IIX \leftrightarrow IIB$$

La FTC en el músculo puede ser cambiada por el ejercicio físico, en función del tipo y la duración de la actividad. La resistencia prolongada induce a una transición:

$$IIB \rightarrow IIX \rightarrow IIA \rightarrow I$$

en los músculos involucrados en el ejercicio. Esta transición de tipos de fibras en el músculo se ha encontrado en cerdos miniatura y confirmado en cerdos comerciales (Joo *et al.*, 2013).

2.6 CONVERSIÓN DE MÚSCULO A CARNE.

Al igual que con otros tejidos biológicos, la calidad de la carne como alimento está condicionada por sus funciones biológicas y la pérdida de homeostasis durante la conversión del músculo en carne. Considerada como un todo, la imagen biológica del músculo es la de un tejido dinámico altamente especializado que proporciona los requerimientos necesarios para la contracción individual en una

gran diversidad de entornos. El resultado de esta situación es la gran diversidad de propiedades sensoriales entre músculos de una misma especie y entre especies distintas (Fennema, 2000).

Uno de los aspectos más ampliamente investigados del proceso "músculo a carne", es el metabolismo *post-mortem*. A medida que el animal muere y el latido del corazón cesa, el flujo sanguíneo se detiene y la oxigenación muscular cae. Por lo tanto, el metabolismo del músculo *post-mortem* se vuelve forzosamente anaerobio y la glucólisis es la vía para proporcionar energía antes de que ocurra el rigor. Bajo condiciones anaeróbicas, el piruvato se convierte en lactato en los tejidos musculares, lo que resulta en la caída del pH y la acidificación del músculo. Las enzimas glucolíticas se encuentran entre las proteínas más abundantes en el músculo y, además de la fosforilación, se sabe que juegan un papel en la modulación de su actividad. La proteómica basada en espectrometría ha permitido la identificación de residuos de aminoácidos fosforilados y, más recientemente, relacionarlos con la modulación metabólica en los músculos *post-mortem* y la terneza de la carne (D'Alessandro & Zolla, 2013).

El trifosfato de adenosina (ATP) se genera principalmente a través de la vía glucolítica de la glucosa almacenada en forma de glucógeno durante la conversión *post-mortem* del músculo a carne. Por un proceso natural, el lactato, que es el producto final de la glucólisis se acumula en el músculo debido a la detención de la circulación sanguínea. Si la distribución de fibras glucolíticas es predominante en un músculo individual, una glucólisis *post-mortem* rápida es inducida, y la acumulación del lactato resulta en una disminución rápida del pH muscular. Los músculos con diferentes tipos de fibras tienen diferentes patrones de cambios *post-mortem* durante la conversión del músculo a carne, y pueden tener una influencia posterior en la calidad de ésta (Lee *et al.*, 2010).

Po lo tanto, la transición desde músculo a carne se acompaña de cambios cuantitativos en varios metabolitos tales como el glucógeno, el ácido láctico, el trifosfato de adenosina (ATP), los fosfatos y propiedades físicas como el pH, la fuerza iónica y la contractibilidad. La conversión de músculo a carne es un proceso exigente de energía y en el músculo después de la muerte, la energía es proporcionada por la degradación del glucógeno. Fosfatos ricos en energía participan en la degradación enzimática del glucógeno en ácido láctico, por lo que el pH disminuye. Muchos microorganismos no pueden sobrevivir a un pH bajo, o por lo menos, hay una disminución significativa en su división. Así, la disminución del pH proporciona cierta protección contra el deterioro bacteriano. El ácido láctico y los fosfatos también contribuyen al sabor típico de la carne (Mačanga *et al.*, 2011).

Esta conversión es un proceso multifactorial. El manejo de los animales, el transporte y el proceso de sacrificio en sí, a nivel del matadero, influyen de manera significativa en la conversión del músculo a carne, su terneza y en última instancia, en la calidad de la carne. Los factores estresantes previos a la matanza van desde físicos, como una temperatura ambiente elevada, la vibración y cambios en la aceleración durante el transporte, el confinamiento, el ruido y el hacinamiento; a psicológicos, como el rompimiento de los grupos sociales y la mezcla con animales desconocidos, olores desconocidos o nocivos y un ambiente novedoso. Los efectos de estos factores en la calidad de la carne van desde la pérdida de peso a la disminución de la terneza o de la capacidad de retención de agua, reduciendo el rendimiento de la canal o favoreciendo la contaminación de ésta. También vale la pena hacer hincapié en que el contenido de glucógeno muscular no sólo varía de una manera específica por el tipo de especie (mayor en cerdos que en bovinos, por ejemplo), sino también en razas y músculos (contracción rápida, contracción lenta), esto se ve reflejado en el tiempo que transcurre entre la

instauración y desaparición del *rigor mortis*, como se explica en el cuadro 2.6 (D'Alessandro & Zolla, 2013).

Cuadro 2.6 DURACIÓN DEL RIGOR MORTIS EN DIFERENTES ESPECIES

ESPECIE	APARICIÓN DEL RIGOR	TERMINACIÓN DEL RIGOR
BOVINO	12-14 horas	2-6 días (Hasta 14 días para alcanzar una terneza máxima)
PORCINO	6-12 horas	1-3 días
PAVO	½-2 horas	6-24 horas
POLLO	½-1 horas	4-6 horas
CONEJO	1-2 horas	5-6 horas

Tomado de Ranken (2003).

Así, décadas de investigación han ayudado a postular algunos ejes angulares de la biología muscular *post-mortem* de los animales. Anteriormente, Ouali *et al.*, esquematizaron este proceso teniendo en cuenta tres fases principales: la etapa pre-rigor, la etapa de rigor y la de tenderización. En aras de mayor claridad, este proceso puede ser diseccionado en siete pasos y discutido brevemente a partir de lo que se conoce en bioquímica básica e investigaciones ómicas recientes (D'Alessandro & Zolla, 2013).

2.6.1 Paso I. Pérdida del aporte sanguíneo: disminución de los niveles de oxígeno y nutrientes.

Después de la matanza, los animales son despmezados, deshuesados y los músculos se almacenan a temperatura de refrigeración durante una semana o más, dependiendo de la práctica actual y/o de los reglamentos antes de su venta. Este período afecta gran parte de las cualidades organolépticas del producto final, la carne, y depende en gran medida de las características de la especie y la raza en cuestión. Los cambios *post-mortem* involucran varias vías bioquímicas y el metabolismo proteico, ya que el músculo sigue siendo funcional y metabólicamente activo durante varios días después del sacrificio, aunque se haya agotado la sangre circulante que suministraba oxígeno y eliminaba los productos finales del metabolismo (es decir, el lactato). El oxígeno residual en el músculo está relacionado con las concentraciones de moléculas de hemoglobina y mioglobina. Los niveles de mioglobina afectan el color de la carne, ya que la mioglobina oxigenada da a la carne una atractiva luz de color rojo y una carne de color rojo oscuro en la ausencia de oxígeno. La oxidación del hierro en el grupo heme pasa de una forma ferrosa (Fe^{2+}) a una férrica (Fe^{3+}) lo que da lugar al color marrón que a menudo está asociada a la liberación de radicales de oxígeno. El color de la carne tiene un valor económico importante, ya que afecta en gran medida la evaluación de los consumidores para la compra de la misma debido a que el color marrón se considera a menudo como un sinónimo de mala calidad higiénica. El flujo de sangre también ejerce un papel clave en la entrega de nutrientes y en la eliminación de productos finales; la interrupción de este proceso provoca el consumo de las reservas de energía locales y la acumulación de productos finales metabólicos (D'Alessandro & Zolla, 2013).

2.6.2 Paso II. Sobreviene la glucólisis, el pH desciende.

Bajo condiciones aeróbicas, la conversión enzimática de la glucosa a piruvato es seguida por reacciones del ciclo del ácido cítrico y de la fosforilación oxidativa. En paralelo, en un papel menor, también se observa la cascada de creatina/fosfocreatina, que proporciona un sustrato elegible para una rápida reconstitución de la reserva de ATP a través de la defosforilación de la fosfocreatina. En el marco del metabolismo *post-mortem*, las reservas de fosfocreatina tienden rápidamente hacia el agotamiento, entonces la energía es producida principalmente a través de la degradación del glucógeno por la glucólisis. Por lo tanto, el almacén inicial de fosfocreatina sólo afecta en menor medida a la continuación de la conversión "músculo a carne". El contenido de glucógeno muscular es el parámetro ulterior, que afecta el alcance teórico de la glucólisis, la que representa el combustible principal en el músculo después del sacrificio. Los músculos de contracción rápida y lenta cuentan con peculiares niveles de enzimas glucolíticas, aunque la mayoría de las investigaciones en proteómica hasta ahora indican una correlación positiva entre los niveles de enzimas glucolíticas (especialmente de fosfoglucomutasa 1, aldolasa, gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa, triosa-fosfato isomerasa, enolasa, piruvato quinasa y lactato deshidrogenasa) y la terneza de la carne. Vale la pena mencionar que sólo algunas isoformas de enzimas glucolíticas han demostrado correlación con la terneza de la carne (tales como la enolasa 3 en lugar de la enolasa 1). Por lo tanto la tasa glucolítica depende en gran medida del tipo de músculo examinado, aunque en todos los casos es modulada por una retroalimentación negativa sobre las actividades enzimáticas en respuesta a un pH ácido resultante de la glucólisis prolongada (D'Alessandro & Zolla, 2013).

Daszkiewicz *et al.* (2009), concluyeron que "no hay necesidad de dividir la carne de calidad normal (con pH de 5.5-6.0) en subgrupos tecnológicos basados en su acidez." Por otro lado, Purchas (1990), individualizó una correlación positiva entre la terneza de la carne y el pH final de entre 5.5-6.0, mientras que la correlación fue negativa cuando el pH sobrepasa 6.0. Mientras la glucólisis progresa en los músculos *post-mortem*, es de esperar una tasa constante de caída del pH y la acumulación de lactato durante el tiempo de almacenamiento de la carne. Por lo general, esto no es lo que se observa, ya que existe una discontinuidad en la caída del pH que ha sido explicada por una capacidad reducida de las células musculares para hacer frente a la capacidad búfer y a la distribución de carga. Se ha propuesto que este fenómeno podría ser el resultado de la sustitución de componentes ácidos (fosfatidilserina) por componentes básicos (fosfatidilcolina y fosfatidiletanolamina) en el compartimento intracelular (potencial de membrana alterado), que es acompañado por una redistribución de iones, lo que podría explicar la existencia de estos pasos de estabilidad de pH transitorios (D'Alessandro & Zolla, 2013).

Lo anterior reflejaría el curso de los fenómenos tal como ocurre en la apoptosis (la externalización de la fosfatidilserina, por ejemplo) y, también es compatible con la alteración de los valores de la CRA en respuesta al pH alterado. De hecho, el aumento en la concentración de iones de hidrógeno reduce la repulsión electrostática entre las proteínas miofibrilares, lo que disminuye la repulsión entre los filamentos y contribuye a la contracción lateral de las fibras musculares, a la extensión del sarcómero y, absolutamente, a la terneza de la carne (D'Alessandro & Zolla, 2013).

La homeostasis de los iones alterados en los músculos *post-mortem* podría ser exacerbada aún más por la expresión diferencial o el control post-traducción sobre transportadores iónicos y canales

específicos, tal como la anhidrasa carbónica 3 y el canal de potasio 15 rectificador interno sensible a ATP. Una estabilidad de pH transitoria se produce entre 1 y 8 horas *post-mortem* (se cree que la apoptosis sobreviene en pocos minutos a 1 hora después de la matanza en los animales), la inversión de la polaridad de la membrana plasmática, probablemente tiene lugar durante las primeras 8 horas *post-mortem* cuando el pH oscila entre 6.4 y aproximadamente 6.8. Otra explicación tentativa implica proteínas PTMs (modificadoras post-traduccionales) y, en particular, la fosforilación de enzimas glucolíticas, un fenómeno que se ha reportado se produce en los músculos *post-mortem* produciendo la alteración de la actividad enzimática glucolítica y, al final, carne dura. De hecho, los músculos en carne dura muestran niveles más bajos de enzimas glucolíticas, y estas proteínas estaban más fosforiladas que en la carne suave (D'Alessandro & Zolla, 2013).

La terneza de la carne está correlacionada con la fosforilación de muchas enzimas metabólicas que regulan el metabolismo anaeróbico (incluyendo la glucógeno fosforilasa, la piruvato quinasa y la fosfofructoquinasa) y, por lo tanto, puede estar directamente ligada a la disminución del pH *post-mortem*. Sin embargo, aún no queda claro si el pH bajo conduce a la diferencia en la fosforilación de las proteínas sarcoplásmicas, o si la fosforilación diferencial conduce a una disminución prolongada del pH. Además, recientemente se ha informado que la estimulación eléctrica, que promueve la tenderización de la carne, también altera el patrón de fosforilación de las enzimas metabólicas (D'Alessandro & Zolla, 2013).

2.6.3 Paso III. La apoptosis sobreviene: proteínas de choque térmico y caspasas.

Como se mencionó anteriormente, el fenómeno de la externalización de fosfatidilserina además de estar implicado en la terneza de la carne, también está relacionado con la liberación de protrombina en el espacio extracelular, donde la enzima se escinde en su forma activa, la trombina, y se cree que contribuye a la degeneración de la placa neural. Esto tiene consecuencias importantes en el marco de la manipulación post-matanza de los canales, ya que una sinapsis neuromuscular comprometida se traduce en una estimulación eléctrica menos eficaz si se realiza más tarde durante el almacenamiento. La mayoría de los estudios acerca de la proteómica de la carne indican una correlación estricta entre la terneza y una serie de proteínas de choque térmico (HSPs), incluyendo DNAJA1 (HSP40), HSPB1 (HSP27), HSP70, HSPA8, α -cristalina (CRYAB) y otras proteínas chaperonas, tal como ha sido recientemente revisado por Guillemín *et al.* (2011) (D'Alessandro & Zolla, 2013).

Se sabe que las HSPs juegan un papel fundamental en la apoptosis, ya que protegen a las proteínas HSP-interactuantes (incluyendo factores de transcripción, por ejemplo) de la desnaturalización/digestión a través de la unión directa. Las HSPs podrían contribuir a fenómenos relacionados con la terneza a través de:

- i) La modulación de las actividades de las caspasas (iniciadores o efectores) a través de la interacción directa.
- ii) La unión directa de la proteasa en el sustrato escindible, evitando así su degradación.
- iii) Función como chaperona en el replegamiento de las proteínas que se despliegan/desnaturalizan en el severo ambiente de los músculos *post-mortem*, donde la caída del pH y las actividades de las proteasas terminan alterando dramáticamente la integridad proteica y su conformación nativa.

- iv) La promoción de la apoptosis cuando los niveles de estrés se vuelven insostenibles para las células musculares (D'Alessandro & Zolla, 2013).

Además de las enzimas glucolíticas, se pueden reportar mayores niveles de HSPs fosforiladas en la carne tierna, modulando así su estado de multimerización y por lo tanto sus funciones, a través de mecanismos que podrían implicar el cambio de interactores estéricos de las HSPs (un ejemplo se reporta para HSPB1). En relación con el dominio de dedos de zinc DNAJA1, vale la pena hacer hincapié en que la investigación proteómica ha destacado una correlación significativa de cierta proteína dedo de zinc (proteína de dedo de zinc 197, por ejemplo) con la ternura de la carne bovina (D'Alessandro & Zolla, 2013).

La desregulación del calcio, el pH bajo y los niveles alterados/modulación de las PTM de la actividad HSP terminan desencadenando las cascadas apoptóticas. Sin embargo, la apoptosis en las células musculares también puede seguir vías alternativas, como la promovida por la fragmentación de la caspasa-desencadenada poliADPribosa polimerasa (PARP), un mecanismo que se conoce dispara la activación de la caspasa 3 y la apoptosis del músculo esquelético, aparte de ser indirectamente relacionada con la sobreexpresión de la calpaína a través del control de la vía transcripcional mediada por PARP. Otro mecanismo mediante el cual la apoptosis podría desarrollarse en las células musculares podría implicar a la proteína gamma 14-3-3 (YWHAG) (sobreexpresada en carne tierna de Chianina), que es un mediador de la señal de transducción jugando un papel en la apoptosis, a través de la unión en MDM y que afecta a la actividad de p53. Por último, como se predijo a través de bioinformática por Guillemín *et al.* (2011) y, posteriormente confirmado por D'Alessandro *et al.* (2012), isoformas de histonas específicas pueden tomar parte en el proceso de la muerte muscular programada, tales como las isoformas H2AF (por ejemplo H2AFY y H2AFX) (D'Alessandro & Zolla, 2013).

2.6.4 Paso IV. Aparición del rigor: se pierde el control sobre los depósitos de calcio, las quinasas son activadas y las proteínas fosforiladas.

Como consecuencia de la matanza, los niveles de glucógeno en el músculo disminuyen y lo mismo ocurre con la energía disponible para mantener al músculo en un estado relajado. De hecho, el ATP es un símbolo de energía fundamental para desencadenar la disociación del complejo actina-tropomiosina. Este proceso también se ve influenciado por las concentraciones libres de Ca^{2+} . La acidificación muscular provoca la desregulación en la liberación del calcio y, junto con el agotamiento de ATP, conducen a la formación de puentes cruzados entre los filamentos de actina y miosina y por lo tanto se promueve el comienzo del rigor (D'Alessandro & Zolla, 2013).

Siendo un mensajero intracelular secundario, la liberación de calcio resulta en las cascadas que conducen a la activación de las quinasas calcio-dependientes (como la PKC) y en la fosforilación de proteínas blanco. El consumo de energía y un aumento de la relación AMP/ATP puede a su vez activar la AMPK quinasa de una forma apoptótica, lo que dispara cascadas que conducen a la fosforilación de proteínas y por completo a la apoptosis. Esto también es consistente con el papel de la AMPK en la carne PSE. La fosforilación de enzimas glucolíticas podría ser modulada por este mecanismo (D'Alessandro & Zolla, 2013).

Por otro lado, los eventos de fosforilación proteica pueden ocurrir de forma temprana después de la muerte (1 hora *post-mortem*, por ejemplo), cuando metabolitos ricos en fosfatos de alta energía (como el ATP) siguen siendo abundantes y la fosforilación de proteínas podría ser paralela o participar en cascadas apoptóticas. La caída de pH puede causar el desarrollo de zonas PSE en el músculo, que se caracterizan por la alteración en la textura, el color y la exudación, relacionados con una reducción de la tasa de proteólisis de tres proteínas: la troponina T, la miosina de cadena ligera y la α -cristalina, y la ausencia total de la proteína de choque térmico 27 (D'Alessandro & Zolla, 2013).

2.6.5 Paso V. Proteasas calcio-dependientes e independientes escinden a las miofibrillas en el disco Z.

Aunque se ha pensado durante mucho tiempo que las catepsinas y las calpaínas eran las únicas proteasas responsables de la tenderización de la carne, ahora está emergiendo el conocimiento que este proceso es un fenómeno multienzimático que implica la activación de catepsinas y calpaínas, junto con otros sistemas proteolíticos (proteasomas, caspasas, metaloproteasas, metalopeptidasas y serina-proteasas) (D'Alessandro & Zolla, 2013).

Recientemente, se ha informado que el proteasoma desempeña un papel importante en las vías celulares mediante la degradación de proteínas en todas las células, incluyendo las musculares. Las enzimas del proteasoma son complejos que llevan a cabo proteólisis mediada por ubiquitina, tanto en el citosol como en el núcleo de las células. Las proteasomas (26S) comprenden la subunidad reguladora 19S y la estructura multicatalítica que contiene las enzimas proteolíticas. La subunidad reguladora 19S tiene funciones de polipéptido de despliegue y reconocimiento del sustrato y el proteasoma 20S es el núcleo catalítico múltiple del complejo proteasoma (Lee *et al.*, 2010).

Para ser reconocido por el proteasoma, un proceso dependiente de ubiquitina debe llevarse a cabo. Por lo menos cuatro moléculas de ubiquitina están involucradas para ser marcadas con un residuo de lisina del sustrato blanco. El polipéptido ubiquitinado es posteriormente reconocido por el proteasoma 19S, y luego ATP es consumido por su ATPasa. Finalmente, la desubiquitinación y la degradación de sustratos ocurren (Lee *et al.*, 2010).

Un buen número de estudios posteriores mostraron que las proteínas miofibrilares y las miofibrillas por sí mismas se pueden hidrolizar por tratamiento con proteasoma purificado. Por otra parte, Sentandreu, Coulis & Ouali (2002) sugirieron que el proteasoma podría ser uno de los principales sistemas proteolíticos endógenos que contribuyen al desarrollo de la textura de la carne. Houbak, Ertbjerg & Therkildsen (2008) también informaron que la inhibición de la actividad de tipo quimotripsina y tripsina del proteasoma dio lugar a una ausencia de la degradación de las proteínas estructurales del músculo. Sin embargo, los estudios de Koohmaraie (1992) y Solomon & Goldberg (1996) mostraron que la estructura intacta de miofibrillas no cambió cuando se incubó con proteasoma purificado. Este resultado puede explicarse por las diferencias de los factores del ambiente entre la incubación artificial y las condiciones *post-mortem* del músculo y, el paso limitante de la velocidad en la degradación por el proteasoma *in vivo* (Lee *et al.*, 2010).

De hecho, el proteasoma no puede degradar directamente las miofibrillas, porque los filamentos miofibrilares no pueden entrar en el núcleo del proteasoma donde residen los residuos catalíticos

debido a su diámetro relativamente grande, tanto si están o no ubiquitinados. En el futuro, debido a que la actividad del proteasoma está regulada por modificaciones post-traduccionales, incluyendo la fosforilación en lugar de expresión RNAm, la medición de la actividad del proteasoma y el análisis de la cinética enzimática a nivel del proteoma son necesarios para confirmar la función precisa del proteasoma en el músculo esquelético (Lee *et al.*, 2010).

Las calpaínas (EC 3.4.22.17), son proteinasas de cisteína calcio-dependientes no lisosomales intracelulares que consisten en dos subunidades con masas moleculares de 80 y 30 kDa. La subunidad grande de la calpaína constituye una familia clasificada en dos especies principales: ubicuas y específicas de tejidos. Las calpaínas ubicuas están compuestas predominantemente por dos especies moleculares, μ - y m-calpaína, que se activan, respectivamente, por concentraciones de iones calcio micro y milimolares. Muchos informes han sugerido que m-calpaína podría estar involucrada en la fusión de mioblastos. Se ha demostrado que durante la miogénesis, la aparición de μ - y m-calpaína y la de sus RNAm específicos no son eventos simultáneos, lo que sugiere que estas dos isoenzimas pueden tener diferentes funciones biológicas: el aumento en la actividad específica de μ -calpaína es muy intensa durante la ráfaga de la fusión de mioblastos, mientras que la expresión de m-calpaína alcanza un máximo durante las últimas etapas de la diferenciación de las células musculares. La μ - y m-calpaína parecen tener diferentes funciones biológicas durante la miogénesis, puesto de manifiesto por su distribución diferencial, de expresión y actividad durante las primeras etapas de la miogénesis. Mientras m-calpaína parece estar implicada directamente en la diferenciación de los mioblastos en la etapa temprana, porque su RNAm aparece antes de la fusión y su actividad aumenta a lo largo de la formación miotubular, la expresión de la μ -calpaína se retrasa y aumenta durante las etapas posteriores a la miogénesis (Guo *et al.*, 2012).

La actividad de las proteasas es impulsada ya sea por disminución del pH o por la acumulación de calcio (tal como en el caso de μ -calpaínas). Las proteínas ligadoras de calcio, tales como la calmodulina y la calsecuestrina, que están implicadas en la modulación de la señalización del calcio en el animal vivo, después de la matanza contribuyen a la reducción de los niveles de Ca^{2+} libre y, por lo tanto, a la reducción de la actividad de las calpaínas. La calpastatina ejerce una acción inhibitoria sobre las calpaínas mediante la unión directa a múltiples proteínas de calpaína a través de subdominios específicos. La inhibición de calpaínas influye totalmente en la terneza de la carne y la CRA (D'Alessandro & Zolla, 2013).

Otro factor que contribuye a la reducción en la extensión de la degradación de las miofibrillas mediada por proteasas es la fosforilación de proteínas estructurales, especialmente de las proteínas relacionadas con el disco Z, evitando de este modo el ataque de las proteasas a las fibras y el resultado sea carne dura. Las proteínas del disco Z regulan las funciones musculares a través de la interacción recíproca. La alteración de estas interacciones se traduce en trastornos musculares. Fosforilaciones de las proteínas del disco Z incrementan las interacciones de miotilina, miozenina 1 y troponina en la línea del disco Z, y modulan la formación del complejo actomiosina, incrementando la cohesión del sarcómero y reduciendo la accesibilidad a las proteasas (D'Alessandro & Zolla, 2013).

2.6.6 Paso VI. El papel controversial del estrés oxidativo en la promoción de la degradación miofibrilar.

Las enzimas antioxidantes son quizás la categoría más interesante de proteínas, aunque su correlación con la terneza es objeto de controversia. De hecho, la fragmentación de las proteínas miofibrilares es no sólo un sistema mediado por proteasas, ya que el estrés oxidativo también podría jugar un papel importante en el proceso. Tanto en cerdos como en bovinos, los parámetros de calidad de la carne tales como CRA y terneza se correlacionan significativamente con la acumulación de estrés oxidativo (relación GSH/GSSG, niveles alterados de enzimas de estrés antioxidantes, tales como superóxido dismutasa, glutarredoxina y lipoxigenasa) (D'Alessandro & Zolla, 2013).

La mioglobina residual y el hierro no-hemo, junto con actividad mitocondrial alterada en el ambiente anaeróbico de los músculos *post-mortem* conducen a la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) que causan daños oxidativos a las proteínas. Durante los primeros 4 días, tiene lugar un fuerte aumento (57%) en los niveles de oxidación de proteínas sarcoplásmicas. Un intento de explicación del proceso es proporcionado por Rowe *et al.* (2004), que indica que las enzimas antioxidantes pueden proteger a las proteasas (como la μ -calpaína) de la oxidación e inactivación, favoreciendo así indirectamente la tenderización de la carne. A menudo, la sobreexpresión de enzimas antioxidantes es más frecuente en los músculos glucolíticos (como en el semitendinoso) (D'Alessandro & Zolla, 2013).

La vitamina E está posiblemente implicada en la regulación de la conversión de músculo a carne mediante la inhibición de la oxidación de proteínas. En un estudio acerca de los efectos de la oxidación en la tenderización de la carne de res hecho por Rowe *et al.* (2004), mostraron que la dieta con vitamina E provoca una degradación más rápida de la troponina T a los 2 días *post-mortem* en los filetes de carne por medio de la disminución de los niveles de oxidación proteica. Cheah *et al.* (1995), sugirieron que la vitamina E estabiliza la membrana del retículo sarcoplásmico e inhibe la actividad de la fosfolipasa A2 presente en el músculo esquelético, eritrocitos y otros tejidos. La fosfolipasa A2 es una enzima implicada en la hidrólisis de fosfolípidos que producen ácidos grasos insaturados de cadena larga y liso-derivados. Estos productos podrían inducir el desacoplamiento y la hinchazón de la membrana del retículo sarcoplásmico y la mitocondria. Por lo tanto, la inactivación inducida por la vitamina E de la fosfolipasa A2 impide la fuga de calcio en el sarcoplasma lo que resulta en una concentración de calcio sarcoplásmico inferior. Menor concentración de calcio en el sarcoplasma está asociada con la desaceleración del ritmo de descenso del pH y los niveles más bajos de desnaturalización de proteínas, y por lo tanto provocan una mayor capacidad de retención de agua (Zhang *et al.*, 2010).

Resumiendo, respecto al papel del estrés oxidativo en el proceso de músculo a carne, se podría concluir que la presencia de niveles más altos de enzimas antioxidantes (y vitamina E) protege el músculo del estrés oxidativo temprano y por lo tanto reduce el grado de carbonilación de las proteínas; esto protegerá a las proteasas de la inactivación inducida por el estrés oxidativo y así se evita la presentación de carne más dura y más oscura (D'Alessandro & Zolla, 2013).

2.6.7 Paso VII. La estructura muscular es alterada por la proteólisis y la desregulación en la homeostasis iónica.

La degradación miofibrilar es un fenómeno fundamental durante la tenderización de la carne. Se sabe que la degradación de las isoformas de troponina T durante el envejecimiento en los músculos *post-mortem* avanza simultáneamente con la tenderización *post-mortem* de la carne de vacuno. A pesar de los procesos más complejos y multifactoriales en la base de los eventos de tenderización de la carne, todas las nueve isoformas de tipo rápido y las dos de tipo lento presentes en el músculo de bovino son escindidos durante el envejecimiento *post-mortem* principalmente en la región amino-terminal-ácido glutámico para generar fragmentos básicos que son buenos marcadores predictivos para el envejecimiento y el desarrollo de la terneza en la carne de res. Así, Bauchart *et al.* (2006), realizaron una caracterización de péptidos de bajo peso molecular (inferior a 5 kDa) generados en el músculo pectoral profundo bovino durante el envejecimiento y la cocción de la carne a fin de revelar la degradación proteolítica *post-mortem* del músculo que se produce como parte de la muerte celular y el proceso de maduración de la carne. Sin embargo, la interrupción de la integridad en la estructura miofibrilar resulta en la mejora de la terneza y en la alteración de la CRA. Esta es la razón principal por la que el aumento en la duración del almacenamiento será rentable para la terneza y el sabor, a pesar de que se tendrá un efecto perjudicial sobre la jugosidad y el color (D'Alessandro & Zolla, 2013).

A pesar de décadas de investigaciones, los mecanismos que sustentan la terneza de la carne son sólo parcialmente comprendidos. Esto es principalmente debido a las enormes cantidades de variables que la afectan *per se*, incluyendo los factores biológicos, tales como la especie animal, las características específicas de las razas, el músculo bajo investigación. Sin embargo, está emergiendo rápidamente que el fenotipo de la carne tierna no sólo está ligado a la genética, sino también a factores extrínsecos, como el ambiente de crianza, las condiciones de alimentación, la actividad física, la administración de estimulantes hormonales del crecimiento, el manejo pre-matanza y el estrés. El manejo *post-mortem* juega un papel, así, como la temperatura de almacenamiento y duración, método de suspensión, los retrasos en la transferencia a la cámara de frío, la estimulación eléctrica y, por último, pero no menos importante, los métodos de cocción (D'Alessandro & Zolla, 2013).

2.7 CALIDAD DE LA CARNE.

La definición de calidad de la carne varía ampliamente, dependiendo quien hable de ello: el procesador, el distribuidor o el consumidor pero, como el último es el juez final, su concepción es la más importante. La calidad de la carne no sólo incluye propiedades nutricionales, como las proporciones adecuadas de los compuestos bioactivos, proteínas, lípidos y sus subcomponentes esenciales; características sensoriales tales como terneza, sabor y color; saludables como la grasa y grasa saturada (FA); y, factores tecnológicos como la capacidad de ser procesada, sino también incluye las percepciones acerca de las condiciones de la producción animal en relación con el bienestar animal, el impacto de la producción en el medio y, por supuesto, la inocuidad alimentaria (Dalle-Zotte, 2002).

La demanda de los consumidores de carne de alta calidad está aumentando en la mayoría de los países, por lo que la industria de la carne debe proveer carne de calidad que sea sabrosa, sana e inocua para el

consumidor y así asegurar el consumo continuo de los productos cárnicos. Con el fin de producir carne de alta calidad, es necesario entender las características de los parámetros de calidad y los factores para su control (Joo *et al.*, 2013).

La calidad de la carne es difícil de definir, ya que es un concepto complejo determinado por las preferencias del consumidor. Debido a que la carne es un tejido animal adecuado para su uso como alimento, las características de calidad están influenciadas por varios factores tales como:

- La estructura muscular.
- La composición química.
- El ambiente químico.
- La interacción de los componentes químicos.
- Los cambios *post-mortem* en los tejidos musculares.
- Los efectos pre-matanza y estrés.
- La manipulación, procesamiento y almacenamiento.
- Las poblaciones microbiológicas.
- Etcétera (Joo *et al.*, 2013).

En particular, la calidad de la carne está directamente relacionada con características de la fibra muscular, ya que éstas son su unidad constituyente. Las fibras musculares se distinguen por sus características morfológicas y propiedades contráctiles y metabólicas. Las características morfológicas tales como el número total de fibras (TNF) y el área de la sección transversal de las fibras (CSAF) son los principales factores determinantes de la masa muscular, así como de la calidad de la carne. También, las propiedades contráctiles y metabólicas del músculo son diferenciadas por los tipos de fibras musculares y, por lo tanto, la calidad de la carne refrigerada está fuertemente relacionada con la composición del tipo de fibra (FTC) en el músculo. En consecuencia, el metabolismo muscular *post-mortem* es un factor crucial para determinar la calidad de la carne y se ve afectado por el TNF, CSAF y FTC. Estas características de las fibras musculares varían según diversos factores, entre ellos: la raza, la selección, el género, la carga hormonal, el crecimiento, la dieta y la ubicación del músculo (Joo *et al.*, 2013).

Por lo tanto, la comprensión de la relación entre las características de fibra muscular y la calidad de la carne mejorarán la producción de carne de calidad, y la manipulación de las características de la fibra muscular tendría un profundo impacto en la rentabilidad de la industria (Joo *et al.*, 2013).

2.7.1 Factores determinantes de calidad en la carne.

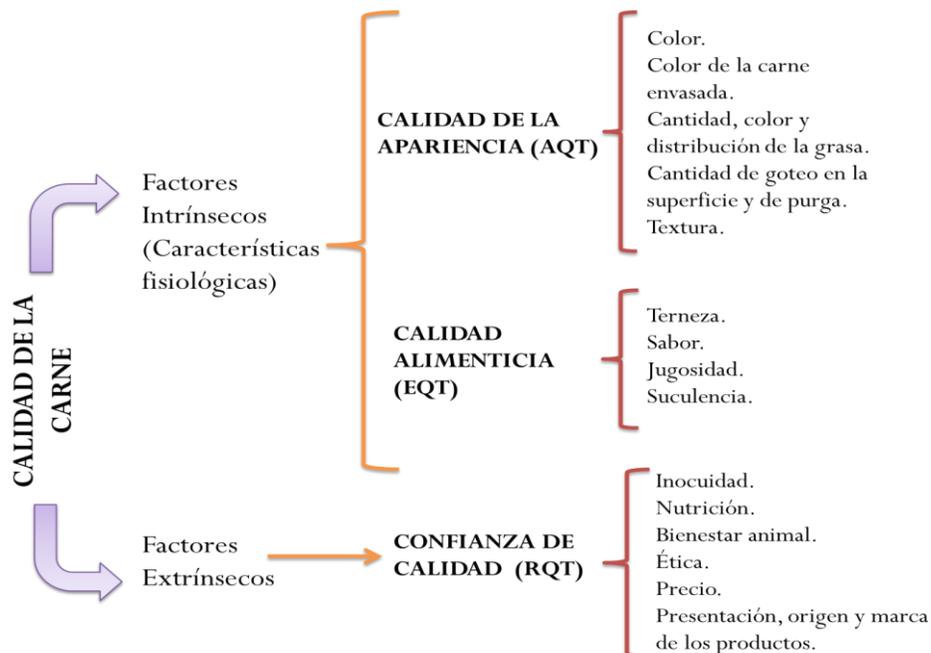
La calidad de la carne es un término muy ambiguo porque su definición varía en función de las preferencias de los consumidores en diferentes regiones del mundo. De acuerdo con ello, en primer lugar, la calidad de la carne debe ser definida por la mayoría de las preferencias del consumidor. Las preferencias del consumidor están relacionadas directamente con los sentidos como la apariencia, el olor, el sabor y la sensación en la boca. También, la calidad de la carne puede ser definida por factores científicos, incluyendo: composición, nutrientes, colorantes, capacidad de retención de agua (CRA),

terneza, funcionalidad, sabores, deterioro, contaminación, etcétera. La calidad de la carne refrigerada indica su utilidad para el consumidor y su aceptabilidad para cocinarse (Joo *et al.*, 2013).

Las características de calidad importantes para la carne son el color, la CRA, la textura y la cantidad de grasa (grasa intramuscular/intermuscular/subcutánea), mientras que los rasgos importantes para la calidad de consumo de carne cocida son la terneza, el sabor y la jugosidad. En general, los consumidores valoran el color como el rasgo más importante de calidad para carne refrigerada, mientras que la terneza está clasificada como el rasgo de palatabilidad más importante para la carne cocida seguida de sabor y jugosidad. Sin embargo, esto puede variar entre los consumidores en función de las experiencias pasadas y antecedentes culturales. Por lo tanto, el orden de importancia de las características de calidad de la carne puede variar según el país (Joo *et al.*, 2013).

El aspecto de la carne se determina por el color, el color de la carne envasada, la cantidad, color y distribución de la grasa, la cantidad de goteo en la superficie de la carne, de purga en la bandeja y la textura. Estos rasgos de calidad de la apariencia (AQT) influyen fuertemente en la decisión del consumidor para seleccionar carne de buena calidad en el momento de la compra. Sin embargo, el consumidor determina la calidad real de la carne en el punto de consumo, con rasgos de calidad alimenticia (EQT), tales como la terneza, el sabor, la jugosidad y la succulencia. Además, los consumidores evalúan la calidad de la carne por las características de confianza de calidad (RQT), tales como la inocuidad, la nutrición, el bienestar animal, la ética, el precio, la presentación del producto, su origen y la marca de los productos cárnicos. Por lo tanto, es conveniente definir "calidad de la carne" por las preferencias de los consumidores que están determinadas por RQT así como las AQT y EQT, como se resume en el cuadro 2.7 (Joo *et al.*, 2013).

Cuadro 2.7.1 FACTORES DETERMINANTES DE CALIDAD EN LA CARNE



Adaptado de Joo *et al.* (2013).

Los rasgos de calidad de la carne se clasifican sobre la base de los principales factores intrínsecos y extrínsecos. En general, los factores intrínsecos son las características fisiológicas de la carne tales como AQT y EQT, mientras que los factores extrínsecos son la RQT de los productos cárnicos. Todas estas características contribuyen a la expectativa del consumidor de obtener carne de alta calidad (Joo *et al.*, 2013).

Los consumidores determinan carne de calidad como la carne con color deseable, textura firme, con menor goteo, alto marmoleo, grasa visible moderada y olor a carne fresca; mientras que la decoloración, textura suave, gran cantidad de goteo, menor marmoleado, exceso de grasa visible y olor anormal son considerados como rasgos de baja calidad para la carne refrigerada. Además, el consumidor espera carne de calidad que sea confiable en relación a la inocuidad, la nutrición, la sustentabilidad y la ética (Joo *et al.*, 2013).

2.7.1.1 Características de calidad de la apariencia (AQT).

El color de la carne es la AQT más importante debido a que es el primer factor visto por el consumidor y se utiliza como una indicación de frescura e inocuidad. Básicamente, el color de la carne es dependiente de la especie, la edad y el tipo de músculo, y las diferencias se deben a los diferentes contenidos de mioglobina (Mb) en el músculo. El mayor contenido de Mb en las fibras musculares de tipo I se debe a la función de almacenar y transportar el oxígeno en el músculo. El contenido de Mb en el músculo se ve afectado por factores tales como el ejercicio y la dieta del animal, así como de factores genéticos y ambientales. Muchos factores contribuyen a la decoloración de la carne durante el procesamiento, almacenamiento y exhibición. El principal determinante de la estabilidad del color de la carne es la tasa de oxidación de la oximioglobina (OxyMb), y la tasa de decoloración en la carne es músculo-específica. La decoloración rápida se produce en los músculos que contienen proporciones relativas mayores de fibras musculares de tipo I debido a la mayor tasa de consumo de oxígeno (Joo *et al.*, 2013).

Otros AQT importantes para la carne fresca son la cantidad de goteo en la superficie de la carne y de purga en la bandeja. El goteo y la pérdida de purga dependen de la CRA de la carne, y la CRA está estrechamente relacionada con el color de la carne debido tanto a su papel en la pérdida de Mb como a la reflectancia en la superficie de la carne. Además, la CRA influye en otras propiedades físicas, incluyendo la textura y la firmeza de la carne cruda y, en las propiedades comestibles de la carne cocinada. La pérdida por goteo se origina en los espacios entre los haces de la fibra muscular y la red perimisial, y en los espacios entre las fibras musculares y la red del endomisio. Estos espacios aparecen durante el desarrollo del rigor cuando el músculo se convierte en carne. Es bien conocido que el exceso de exudado por goteo y la textura suave resultan de la combinación de una disminución rápida del pH y de una temperatura alta en el músculo *post-mortem* (Joo *et al.*, 2013).

La textura de la carne está directamente relacionada con el tamaño de la fibra muscular y la cantidad de tejido conectivo, y se encuentra parcialmente afectada por la cantidad de grasa intramuscular (IMF). Hazes musculares relativamente grandes son responsables de la textura gruesa, no deseable sobre la superficie de corte transversal de la carne. La diversidad de músculos se atribuye a las características heterogéneas de las fibras musculares individuales y la composición del mosaico. El diámetro de la fibra muscular varía con la especie, la edad cronológica, el estado de nutrición del

animal, los antecedentes genéticos y la composición del tipo de fibras musculares. La aspereza de la superficie de la carne se incrementa con los filamentos del tejido conectivo engrosados, así como con el aumento de tamaño de los haces musculares. El contenido de tejido conectivo de la carne varía según la especie, la edad cronológica, el estado de nutrición del animal y las características de las fibras musculares (Joo *et al.*, 2013).

La firmeza de la carne también se ve influenciada por el estado y cantidad de grasa subcutánea que rodea a los músculos y la IMF. Debido a que los depósitos de IMF se encuentran principalmente en el perimio entre los haces musculares, la firmeza de la carne está parcialmente influenciada por la firmeza de la IMF que se ve afectada por la composición de ácidos grasos y la temperatura. Se sabe que la IMF produce efectos sobre el sabor, la jugosidad, la terneza y las características visuales de la carne con el aumento de marmoleo en la carne, aunque ha habido un amplio debate acerca de la contribución de la IMF a la terneza de la carne. La cantidad de IMF se ve afectada por muchos factores, entre ellos la raza animal, el peso al momento de la matanza, la estrategia de alimentación y la tasa de crecimiento. En los animales, la adipogénesis se produce de forma primaria en el depósito de grasa visceral, seguida de cerca por los depósitos subcutáneos e intermusculares y la adipogénesis en la grasa intramuscular ocurre como último evento. La adipogénesis puede verse afectada por factores genéticos, nutricionales y ambientales que son las vías de señalización clave para la regulación de este proceso en el músculo esquelético. Aunque hay variaciones entre las especies, la IMF tiende a aumentar conforme avanza la edad, cuando se han completado las etapas principales de crecimiento muscular. La deposición de IMF es altamente heredable y se correlaciona positivamente con la grasa corporal general en el animal. Por otra parte, la IMF tiene una correlación positiva con el porcentaje de fibras musculares rojas, pero una correlación negativa con las fibras musculares blancas (Joo *et al.*, 2013).

2.7.1.2 Características de calidad alimenticia (EQT).

La terneza es la más importante EQT debido a que influye fuertemente en la percepción de los consumidores para la aceptabilidad del producto. La terneza de la carne se ve afectada principalmente por la cantidad y solubilidad de tejido conectivo, la composición y contractibilidad de las fibras musculares y, la extensión de la proteólisis en el músculo en rigor. Además, el contenido de IMF afecta indirectamente la terneza de la carne. La terneza es más importante para la carne roja como la carne de res y cordero debido a una alta composición de fibras musculares rojas y tejido conectivo en comparación con la carne de cerdo, conejo o pollo (Joo *et al.*, 2013).

El contenido de tejido conectivo está relacionado con las características de la fibra muscular porque éstas ocupan el 75-90% del volumen muscular y la morfología de la fibra muscular es un factor determinante de la masa. La heterogeneidad de las características de la fibra muscular en diferentes músculos se sabe que influye en la terneza. Sin embargo, la relación entre las características de las fibras musculares y terneza de la carne sigue siendo controversial. Los músculos con diversas fibras musculares tienen diferentes patrones de cambio *post-mortem* durante la conversión del músculo a carne. Si las fibras de tipo II son predominantes en el músculo, la glucólisis *post-mortem* es rápida, resultando en un declive acelerado del pH en el músculo. Adicionalmente, durante todo el período *post-mortem*, la longitud de los sarcómeros en el músculo varía debido a que cada fibra del músculo entra en rigor en diferentes momentos. En consecuencia, la terneza de la carne varía con la tasa de

glucólisis, el comienzo del rigor post-matanza y la extensión de la glucólisis, que están relacionados con la temperatura muscular, así como con las características de la fibra muscular (Joo *et al.*, 2013).

El sabor también es importante para la calidad alimenticia, porque la gente espera ciertos atributos como el buen gusto. Debido a que la carne consiste principalmente en la porción magra y la porción grasa, el sabor depende principalmente de la reserva de precursores del sabor en estos dos tejidos. Esta característica se ve afectada por la especie, el sexo, la edad, el nivel de estrés, la cantidad de grasa y la dieta del animal. La carne de res, cerdo, cordero, conejo y aves de corral tienen características de sabor distintivo debido a la variación de los precursores del sabor en general en la grasa entre y dentro de las especies. El efecto del sexo de los animales en el sabor de la carne está muy relacionado con la testosterona y el escatol que se producen en los machos y hembras intactas, respectivamente. La testosterona aumenta el crecimiento muscular y disminuye la deposición intramuscular de lípidos. En general, los machos enteros depositan menos grasa en todo el cuerpo y en el músculo además de ser más susceptibles a largo plazo a estrés pre-matanza que las hembras o machos castrados (Joo *et al.*, 2013).

La jugosidad está positivamente relacionada con la CRA y el contenido de IMF en la carne. El contenido de IMF afecta directamente la jugosidad y el sabor, y la percepción humana de jugosidad se incrementa cuando se incrementa el contenido de IMF en la carne. Por otra parte, la sensación de jugosidad en la cavidad oral es generalmente sostenida cuando la carne tiene una gran cantidad de IMF. El contenido de IMF afecta esta característica mediante la mejora de la CRA de la carne, por la lubricación de las fibras musculares durante la cocción, mediante el aumento de la ternura de la carne, y por lo tanto la aparente sensación de jugosidad, o mediante la estimulación del flujo salival durante la masticación. Es bien sabido que la carne con un alto contenido de IMF mejora la jugosidad después de un calentamiento relativamente largo en un ambiente húmedo, mientras que la carne de menor contenido de IMF no se deteriora por un corto calentamiento severo bajo condiciones de cocción en seco (Joo *et al.*, 2013).

2.7.1.3 Características de confianza de calidad (RQT).

La inocuidad es siempre más importante que la AQT y la EQT y, el nivel microbiano en la carne es la RQT más importante para la carne. Las categorías de carne inocua también incluyen residuos físicos y químicos, aditivos alimentarios y la identificación de especies animales de los productos cárnicos. En general, los consumidores evalúan la carne inocua por las evaluaciones visuales y de olor, que son las indicaciones más rápidas de deterioro carne, aunque son indicadores poco fiables de inocuidad. La importancia de la carne como vehículo de bacterias patógenas es considerable en términos de salud pública. Por lo tanto, los requisitos estrictos y rigurosos de inocuidad en el procesamiento de la carne se han desarrollado y puesto en práctica en muchos países. El sistema de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control (HACCP) proporciona la base para el sistema de gestión de carne inocua dentro de la cadena de producción cárnica (Joo *et al.*, 2013).

No hay duda de que un alimento de calidad es aquel con un alto valor nutricional y, la carne es uno de los alimentos más nutritivos. Sin embargo, recientemente, el concepto de nutrición ha cambiado como el grado de nutrición de los alimentos han alcanzado su punto más alto. En el pasado, la carne de calidad estaba más estrechamente relacionada con las percepciones sensoriales, la frescura y los

aspectos de seguridad de los productos cárnicos, mientras que, más recientemente, se asocia con la nutrición, el bienestar y la funcionalidad en relación con la salud humana. En consecuencia, los consumidores pueden considerar el alto contenido de grasa y colesterol en la carne como indeseable y poco saludable, aunque ésta sea nutritiva, ya que es una fuente rica en proteínas, aminoácidos esenciales, minerales y vitaminas. La composición de la carne se puede manipular para alterar el perfil nutricional en la mayoría de los casos. La suplementación de la dieta de los animales es el factor clave que puede ser más fácil de manipular y tiene uno de los efectos más profundos en la composición de la carne. Además, el efecto de la dieta sobre el perfil nutricional es más profundo en la carne procedente de los animales monogástricos. Este tipo de carne se clasifica como alimentos funcionales que se definen como los alimentos con perfiles nutricionales que exceden a los productos convencionales (Joo *et al.*, 2013).

En los últimos años se ha producido un considerable aumento de la preocupación de los consumidores con respecto a cómo se produce la carne. La preocupación por el bienestar animal se ha incrementado enormemente en todo el mundo y se ha producido un enorme desarrollo de la cría "orgánica" de los animales. Los consumidores exigen que los animales sean criados, transportados y matados en condiciones que contemplen el bienestar animal. También, los consumidores quieren estar seguros de que la carne que compran procede de sistemas de producción éticamente sólidas. En consecuencia, los agricultores, los veterinarios, los envasadores y los científicos necesitan tener mayor conocimiento sobre cómo evaluar y auditar el bienestar animal en la granja y en el matadero (Joo *et al.*, 2013).

2.7.2 Tipos de fibras musculares y su impacto en las características de calidad de la carne.

La carne se compone de numerosos tejidos, tales como el adiposo, epitelial, conectivo y nervioso, aunque el componente principal es el muscular. En consecuencia, independientemente de la calidad del músculo, la variación en la calidad de la carne puede estar influenciada por estos factores intrínsecos. Por ejemplo, algunos músculos contienen cantidades relativamente grandes de tejido conectivo, que se asocian con la dureza de la carne. Si la carne contiene o bien un exceso inesperado o una baja cantidad de grasa, esta carne será considerada de baja calidad. Es obvio que las características del contenido de grasa, tejido conectivo y fibras musculares tienen una influencia significativa en la calidad de la carne (Joo *et al.*, 2013).

El tipo de fibra muscular, las áreas de fibra y la densidad capilar de los músculos en específico son factores importantes que influyen en muchos de los procesos bioquímicos *peri-* y *post-mortem* y por lo tanto, en la calidad de la carne (Guo *et al.*, 2012). Además, las condiciones de almacenamiento y la temperatura son muy importantes porque la calidad de la carne se puede deteriorar debido a las condiciones adversas de almacenamiento o de abuso de la temperatura. Por otra parte, la AQT y la EQT se ven significativamente modificadas por el método de cocción y preparación de los cortes de carne. En particular, el TNF, CSAF y la FTC están estrechamente relacionadas con el pH del músculo que se considera comúnmente como un indicador de la calidad de la carne. Especialmente, la FTC en el músculo está relacionada con la tasa de disminución del pH *post-mortem*. El aumento de la proporción de fibras glucolíticas de contracción rápida en el músculo *longissimus* ha demostrado que incrementa la velocidad y el grado de disminución del pH *post-mortem*. Por otra parte, las fibras oxidativas son susceptibles a temperaturas frías y, por lo tanto, una rápida disminución de la

temperatura *post-mortem* podría aumentar el acortamiento del músculo especialmente si éstos contienen una alta cantidad de fibras oxidativas (Joo *et al.*, 2013).

Las características de la fibra muscular influyen en la AQT incluyendo el color, la CRA, la textura y el marmoleo en la carne (Joo *et al.*, 2013). En los animales vivos, la producción de energía tiene dos principales rutas alternativas: la vía aeróbica y la anaeróbica. Sin embargo, después del desangrado, cuando se detiene la circulación, los músculos carecen del oxígeno necesario para el metabolismo oxidativo. Por lo tanto, la glucólisis es una vía muy importante en el período *post-mortem*. La rápida glucólisis *post-mortem* induce una acumulación de lactato, y esta acumulación de lactato resulta en un rápido descenso del pH muscular, mientras que la temperatura muscular sigue siendo alta. Esta combinación de pH bajo y de alta temperatura resulta en una mayor desnaturalización de las proteínas, y generalmente en una calidad de la carne menor. Las fibras de contracción rápida llevan a cabo principalmente la vía glucolítica, y su metabolismo contribuye a un metabolismo rápido en el período *post-mortem* temprano. Por lo tanto, el porcentaje de fibras IIB se relaciona negativamente con el pH del músculo y, positivamente con el valor R (relación adenina/inosina), lo que permite la determinación de la depleción de ATP en el período *post-mortem* temprano. Asimismo, los músculos que albergan un alto contenido de glucógeno y lactato a los 45 minutos *post-mortem* se componen de significativamente de fibras tipo IIB y menos por tipo I, y también muestran una glucólisis *post-mortem* rápida, color más pálido y mayor pérdida por goteo que los músculos que albergan contenido alto de glucógeno y bajo de lactato en el período *post-mortem* temprano (Choi & Kim, 2009).

En el caso de las isoformas de la miosina, el contenido de isoforma MHC rápida se correlaciona positivamente con el contenido de lactato y el potencial glucolítico y, negativamente con el contenido de glucógeno y el pH del músculo. Por otro lado, el contenido de isoforma MHC lenta se correlaciona positivamente con el contenido de glucógeno y pH, y negativamente correlacionado con el contenido de lactato en el período *post-mortem* temprano. Según el informe de Warner *et al.* (1993), las condiciones no deseables tales como la carne suave, pálida y exudativa (PSE), son más propensas a desarrollarse en los músculos de contracción rápida que en los de contracción lenta. Por otro lado, los músculos con un mayor contenido de isoforma MHC I muestran un mayor pH final y un mayor nivel de actividad de la enzima oxidativa, pero una menor actividad de la enzima glucolítica y pérdidas por goteo y una superficie más oscura que los músculos con un menor contenido de MHC I. Por lo tanto, la isoforma lenta MHC es un indicador útil para la determinación de la capacidad oxidativa del músculo en cerdos, bovinos, conejos y ovejas (Choi & Kim, 2009).

El contenido de Mb y la tasa de oxidación de ésta son músculo-específicas. Está bien documentado que el aumento de la proporción de fibras tipo I disminuye la estabilidad del color con un posible cambio a un color parduzco metMb (metamioglobina). Además, Ryu y Kim (2005), informaron que la tasa metabólica acelerada y la mala calidad de la carne PSE se explican por un aumento en el porcentaje de fibras IIB. Por ejemplo, la pérdida por goteo está inversamente relacionada con el porcentaje de fibras I y IIA, y positivamente relacionada con el porcentaje de fibras IIB. Otro parámetro importante es la luminosidad, que se correlaciona negativamente con las fibras I, y el nivel de pigmento hemo se correlaciona positivamente con las fibras I (Cuadro 2.7.2) (Choi & Kim, 2009). La composición de las fibras de contracción rápida glucolíticas (IIB) en el músculo de cerdo se relaciona con una mayor luminosidad y CRA inferior (Joo *et al.*, 2013). Además, Whipple *et al.* (1992), encontraron correlaciones negativas entre el porcentaje de fibras IIB con el contenido de mioglobina y con el color determinado visualmente (Choi & Kim, 2009).

Según Lengerken *et al.* (1997), los cerdos con un TNF más alto tendían a exhibir tamaños de fibra de menor tamaño y mayor $\text{pH}_{45\text{min}}$ muscular y menor pérdida por goteo que los cerdos con un número total de fibras inferior y de gran tamaño. Por otra parte, el TNF tipo I se correlaciona negativamente con la pérdida por goteo y luminosidad. Por el contrario, una mayor cantidad de fibras tipo IIB se asociaron con el aumento de pérdidas por goteo, y también se asociaron con diferentes mediciones en la capacidad de retención de agua (Choi & Kim, 2009).

El tamaño y número de fibras musculares son factores que influyen en la masa muscular y en la calidad de la carne. Durante el desarrollo postnatal, cuando el número de fibras musculares es alta, éstas generalmente crecen más lentamente; por el contrario, las fibras crecen más rápidamente cuando el número de fibras es bajo en aves de corral y cerdos. Por lo tanto, el número de fibras se correlaciona negativamente con el CSAF, mientras que tanto el TNF y el CSAF se correlacionan positivamente con la masa muscular en cerdos. Además, en el ganado bovino, existen músculos hipertrofiados con alto potencial de crecimiento debido a un TNF mayor (Choi & Kim, 2009). Sin embargo, la hipertrofia de las fibras de contracción rápida óxido-glucolíticas (IIA) son específicamente perjudiciales para la CRA. El tamaño de las fibras musculares afecta el potencial de crecimiento muscular y el tamaño del haz de las fibras, que resulta en la tosquedad visible de las secciones transversales de la carne (Joo *et al.*, 2013).

El contenido de tejido conectivo, incluyendo la IMF, también varía con características de la fibra muscular. De acuerdo con Larzul *et al.* (1997), existe una fuerte correlación genética positiva entre el CSAF y el contenido de IMF en el músculo *longissimus* del cerdo. Kim, Jeong *et al.* (2013), y Kim *et al.* (2013), reportaron que la proporción y el tamaño de las fibras tipo IIB se relacionan positivamente con el contenido de la IMF en el músculo *longissimus* porcino. En el músculo de bovino, la IMF tiene una correlación positiva con el porcentaje de fibras musculares rojas, pero una correlación negativa con las fibras blancas. Se afirma comúnmente que los músculos oxidativos rojos contienen más de la IMF que los músculos glucolíticos blancos. Sin embargo, Lefaucheur (2010) informó que no hubo relación universal entre la IMF y la FTC y sugirió que ambas características son bastante independientes y pueden ser manipuladas por separado (Joo *et al.*, 2013).

La EQT también se encuentra asociada estrechamente con las características de las fibras musculares. La heterogeneidad del tipo de fibra muscular en diferentes músculos se sabe que influye en la terneza de la carne. Se ha encontrado que los músculos de contracción lenta contienen más colágeno, el cual desempeña un papel muy importante en la unión de las fibras musculares y en la disminución de la terneza de la carne. Sin embargo, la relación entre la terneza y la FTC sigue siendo controversial, y no se ha establecido una clara relación entre el contenido de colágeno y la FTC en las especies ganaderas. Además, el tamaño de la fibra es un factor importante en la determinación de la terneza de la carne (Choi & Kim, 2009). Los músculos con un tamaño más grande de fibra, especialmente los de tipo IIB, exhiben carne más dura que los músculos de tamaño de fibra más pequeña en el ganado y en el cerdo. Por el contrario, Berri *et al.* (2007), reportaron que el CSAF mostró una relación positiva con la terneza de la pechuga en pollos de engorda (Joo *et al.*, 2013; Choi & Kim, 2009). Estos resultados sugieren que los músculos con un mayor número de fibras de pequeño o mediano tamaño tienden a exhibir una buena calidad de la carne, sin diferencias significativas en la masa muscular. Por el contrario, la selección de animales para carne más magra puede dar lugar a fibras musculares grandes, especialmente del tipo de fibra IIB, que parece estar asociado con una peor calidad de la carne (Choi & Kim, 2009).

La FTC muscular está relacionada con la degradación proteolítica *post-mortem*, así como con la glucólisis y la tasa de disminución del pH. Las fibras de contracción rápida IIB son conocidas por ser altamente glucolíticas y su metabolismo contribuye a una tasa metabólica rápida en las primeras etapas del período *post-mortem*. Si las fibras de contracción rápida glucolíticas son predominantes en el músculo, es inducida la glucólisis rápida, resultando en una disminución rápida del pH en el músculo. Por lo tanto, la composición de fibras tipo IIB se relaciona negativamente con el pH muscular, pero positivamente relacionada con el valor R (relación adenina/inosina), lo que permite la determinación de la depleción de ATP en el período *post-mortem* temprano. Por el contrario, el aumento de la proporción de fibras tipo I en el músculo disminuye la velocidad y el grado del declive *post-mortem* del pH. Estas diferencias en las propiedades *post-mortem* de los músculos se deben a diferentes FTCs e influyen en la terneza de la carne. Por otra parte, las fibras rápidas tipo II son más susceptibles a la degradación proteolítica *post-mortem* temprana que las de tipo I (fibras lentas). Hwang *et al.* (2010), informaron de la mejora de la terneza a través de aumentar el porcentaje de las fibras de tipo I y, disminuyendo el porcentaje del tipo IIB en el tejido muscular del ganado (Joo *et al.*, 2013).

La influencia de las características de la fibra muscular en el envejecimiento *post-mortem* es otro aspecto importante de la calidad de la carne. El aumento de las fibras glucolíticas de contracción rápida tiene efectos beneficiosos sobre el envejecimiento *post-mortem* y la terneza en los bovinos. En el envejecimiento *post-mortem* de la carne, la tasa es más rápida en los músculos de contracción rápida que en los oxidativos de contracción lenta. La relación calpaína/calpastatina es mayor en los músculos glucolíticos de contracción rápida que en los oxidativos de contracción lenta, lo que podría explicar en parte la mayor tasa de envejecimiento en los músculos glucolíticos. Las fibras de contracción rápida han desarrollado un amplio retículo sarcoplásmico, sistema transversal-tubular, y una banda Z más delgada que las fibras de contracción lenta, y las proteínas que componen la banda Z en las fibras de contracción rápida son más susceptibles a la degradación proteolítica *post-mortem* temprana que aquellas en las fibras de contracción lenta (Joo *et al.*, 2013).

La IMF es un factor importante que influye en la calidad, incluyendo la terneza, la jugosidad y el sabor, y se ve influido por factores genéticos y ambientales, tales como el genotipo, el género, el sistema de alimentación, la edad, etc. Sin embargo, el contenido de IMF se correlaciona positivamente con la terneza y de forma negativa con el área de la fibra. Un estudio que utilizó la tinción histoquímica Sudán B negro y Oil Red O mostró que todas las fibras tipo I contienen lípidos neutros, mientras que los tipos IIA y IIB sólo contenían 26 y 1%, respectivamente. Por lo tanto, el porcentaje de fibras tipo I se correlaciona positivamente con el contenido de IMF en el ganado, y un contenido alto de fibras tipo I contribuye más a la jugosidad y el sabor, mientras que un alto contenido de fibras tipo IIB tiende a ser asociado con carne más dura (Choi & Kim, 2009).

Los músculos oxidativos, glucolíticos y de tipo intermedio presentes en el conejo difieren significativamente en el contenido total de lípidos: los músculos glucolíticos contienen la mayor proporción de fosfolípidos que a su vez contienen una mayor proporción de PUFAs que la fracción de triglicéridos. El grado de insaturación de lípidos en los tejidos puede ser modificado por manipulación de la dieta, por ejemplo, mediante el enriquecimiento con ácidos grasos específicos o grasas. La susceptibilidad de la musculatura a la oxidación depende de varios factores, siendo el más importante el nivel de PUFAs presente. La oxidación de los tejidos es uno de los principales mecanismos por los que la calidad de los alimentos se deteriora. El deterioro oxidativo en el músculo comienza con la oxidación de los dobles enlaces de los fosfolípidos de las membranas celulares, dando lugar a la

producción de radicales libres, y se manifiesta como deterioro del sabor, color, textura, valor nutricional y la posible producción de sustancias tóxicas (Corino *et al.*, 1999).

Sin embargo, Lefaucheur (2010), sugirió que los adipocitos intramusculares no estaban relacionados con la FTC, aunque la investigación ha demostrado que los músculos oxidativos rojos contienen más IMF en total que los músculos glucolíticos blancos. Por lo tanto, la relación entre FTC, IMF y EQT todavía sigue siendo un desafío (Joo *et al.*, 2013).

Cuadro 2.7.2 FIBRAS MUSCULARES: CLASIFICACIÓN INMUNOHISTOQUÍMICA E INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE LA CARNE

I	IIA	IIX	IIB
Contracción lenta oxidativa.	Características intermedias entre los otros dos tipos de fibras.		Contracción rápida glucolítica.
Energía aeróbica.	Velocidades de acortamiento similares pero son más lentas que las tipo IIB.		Velocidad de acortamiento 3 veces más rápidas que las tipo I.
Mayor dependencia del ciclo del ácido tricarboxílico y del metabolismo oxidativo.			Glucógeno y enzimas relacionadas con la glucólisis en mayor abundancia.
Sarcolema más espeso y retículo sarcoplásmico menos extenso.			Reticulo sarcoplásmico más desarrollado.
Bandas Z tienden a ser más anchas.			Bandas Z más delgadas.
Mitocondrias relativamente grandes y numerosas.			Reticulo sarcoplásmico y sistemas de microtúbulos T más ampliamente desarrollados.
			Son fatigadas con facilidad.
	Mayor capacidad de transferencia de energía para acciones musculares rápidas y vigorosas.		
Correlación (+) con el contenido de glucógeno y pH. Correlación (-) con el contenido de lactato.	Correlación (+) con el contenido de lactato y el potencial glucolítico. Correlación (-) con el contenido de glucógeno y el pH muscular.		
Mayor pH final.	Carne PSE más propensa a desarrollarse.		
Menor pérdida por goteo	Mayor pérdida por goteo (es mayor conforme aumenta el porcentaje de tipo IIB).		
Correlación (-) con la Luminosidad. Correlación (+) con el pigmento Hemo.			Correlación (-) con el contenido de Mioglobina. Correlación (-) con el color determinado visualmente.

Adaptado de Choi & Kim (2009); Joo *et al.* (2013).

Asimismo, se han realizado correlaciones entre las características de la canal y de fibras musculares y las características de calidad de carne: áreas de fibras rojas se correlacionan significativamente con el peso de la canal caliente y el espesor de la grasa. Grandes áreas de fibras rojas están correlacionadas con la baja incidencia de mal sabor. Grandes áreas de fibras, rojas o blancas, se correlacionaron positivamente con la terneza objetiva. El estudio hecho por Choi (2008), muestra que los músculos

con bajo contenido de glucógeno y lactato en la etapa *post-mortem* temprana, están compuestos significativamente por fibras tipo I y en menor grado por fibras tipo IIB, en comparación con los músculos con alto contenido de glucógeno y lactato (Guo *et al.*, 2012).

2.8 FACTORES CON INFLUENCIA SOBRE LA CANAL Y CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO.

2.8.1 Factores con efecto moderado.

2.8.1.1 Factores ambientales.

Los efectos ambientales en su mayoría implican la temperatura y la estación del año, en donde la temperatura juega un papel muy importante en la producción y el rendimiento a la matanza. Tal como ocurre en el ganado, el incremento de la temperatura ambiente en los conejos por encima de su termoneutralidad reduce el consumo de alimento y, en consecuencia, la tasa de crecimiento resultando en un peso comercial menor a la edad de matanza pero, algunas veces, en un mejor rendimiento de la canal debido a la menor proporción de piel, tracto GI vacío y menudencias. Del mismo modo, la temperatura bajo el valor de termoneutralidad afecta la tasa de crecimiento debido a que el mecanismo de la regulación termostática entra en acción y debido a la mayor necesidad de energía para la termorregulación. Las características de calidad de la carne parecen estar influenciadas en menor grado por las condiciones térmicas. Chiericato *et al.* (1996), observaron que en conejos criados en temperaturas altas, si se compara con la cría con condiciones termoneutrales, la carne se muestra más pálida y sus lípidos tienen una proporción mayor de FA saturados (Dalle-Zotte, 2002).

2.8.1.2 Técnicas de crianza.

Con el objetivo de mejorar el bienestar animal y para diferenciar la producción de carne de conejo, los investigadores han estudiado de forma más amplia el tipo de alojamiento. Por ejemplo, Van Der Horst *et al.* (1999), compararon dos tipos de alojamientos, las clásicas jaulas de engorde de malla de alambre con 16 conejos/m² contra corrales con 8 conejos/m². Demostraron que los animales criados en los corrales tenían menor tasa de crecimiento, menor rendimiento de la canal y menor porcentaje de grasa perirrenal, principalmente debido a una actividad física incrementada (Dalle-Zotte, 2002).

2.8.1.3 Tipo de alimentación.

Como se explica claramente por Ouhayoun (1998), todos los factores que influyen en el potencial de crecimiento, cambiando el crecimiento relativo de tejidos y órganos, conducen a modificaciones de la

canal y de la calidad de la carne. Con esto en mente, el factor de la alimentación puede desempeñar un papel importante. Se ha realizado investigación considerable sobre la nutrición y la alimentación del conejo; la mayoría de los estudios han tenido en cuenta el efecto del nivel de alimentación mediante la introducción de variaciones en la cantidad de alimento ingerido o en la concentración de energía de la dieta (Dalle-Zotte, 2002).

2.8.1.4 Tratamiento ante-mortem.

Algunas investigaciones han evaluado el efecto de la privación de alimento y/o agua en el período previo a la matanza. El efecto principal consiste en una esperada reducción significativa del peso de los conejos transportados y del volumen de despojos, por lo que este método parece ventajoso para el matadero. Desde el punto de vista de calidad de la carne, no se encontró diferencia significativa: sólo el pH final muscular (pHu) se incrementó y el brillo se redujo por el ayuno. Por otro lado, Masoero *et al.* (1992), observaron una disminución favorable del pHu en conejos ayunados. El manejo y el transporte pre-matanza pueden aumentar la pérdida de peso corporal durante el transporte: de 1.4 a 4.6% con el aumento de la duración del transporte de 1 a 7 horas. La carne de conejos transportados con mayor frecuencia tenía un pHu superior y, como consecuencia, una mayor CRA, se veía más oscura y menos colorida, lo que se traduce en mayor ternera, evaluada instrumental o sensorialmente. Estos resultados sugieren que los tratamientos previos a la matanza no conducen a modificaciones importantes de las propiedades de la carne o anomalías tales como PSE o DFD. Por el contrario, el transporte a corto plazo puede mejorar las cualidades sensoriales de la carne de conejo, haciéndola más tierna y jugosa (Dalle-Zotte, 2002).

2.8.1.5 Condiciones del aturdimiento.

Cualquiera que sea el método de aturdimiento empleado da como resultado estrés demostrado por la liberación de catecolaminas, asociado con el agotamiento de las reservas de energía y una reducción en el grado de acidificación. El aturdimiento con electroanestesia a alta frecuencia (4000 Hz), si se compara con el electroshock (270 V, 50 Hz), puede aumentar la descarga de adrenalina acelerando el desarrollo del *rigor mortis*, pero sin modificar el pHu. Sin embargo, el primer método, es demasiado peligroso para los operadores así como también muy doloroso para el conejo y provoca contracciones musculares posteriores que pueden provocar fracturas óseas, por lo tanto, no se utiliza en condiciones prácticas. Hoy en día, el método de aturdimiento legal más común es el electroshock (hasta 320 V, 50 Hz), seguido por el corte de la vena yugular y la arteria carótida. En comparación con el aturdimiento por dislocación cervical, los electroshocks favorecen el empobrecimiento de las reservas energéticas musculares (ATP, PC y glucógeno) y provocan un acortamiento del sarcómero pero no parecen tener un gran efecto en el pHu, el proceso de maduración o en la ternera de la carne (Dalle-Zotte, 2002).

2.8.2 Factores con efecto alto.

2.8.2.1 Genética.

En conejos, la variabilidad genética entre razas puras es muy elevada (un conejo gigante es cinco veces más pesado que un enano en peso adulto). Se ha demostrado que el peso adulto tiene gran importancia en la determinación de la tasa de crecimiento, el grado de precocidad y, finalmente, en la composición corporal del conejo. Sin embargo, como los conejos criados para carne son, en la práctica, híbridos comerciales derivados de programas de selección basados en cruces de tres vías en el que las razas tienen pesos adultos que por lo general oscilan entre los 4 y 5 kg, su peso en la edad comercial (de las 11 a las 13 semanas) no es tan diferente entre los productos finales. De acuerdo con algunos resultados como los de Lambertini *et al.* (1996); Hernández *et al.* (1998), las diferencias entre las líneas en términos de calidad de la carne son débiles y parece existir una cierta constancia en la calidad de la carne de conejo (Dalle-Zotte, 2002).

En la última década, las estrategias de mejoramiento genético aumentaron considerablemente la capacidad de crecimiento de los conejos. De hecho, los programas de selección actuales están basándose en las tasas de crecimiento rápidas utilizando sementales terminales de gran tamaño, con el objetivo de mejorar la eficiencia alimenticia y acortando el tiempo de crianza. Si estos conejos se matan a pesos comerciales ligeros, como se define, por ejemplo, por el mercado español, esto a menudo conduce a animales menos maduros con algunas consecuencias no deseadas, tales como la reducción del rendimiento de la canal (principalmente debido a la mayor proporción del aparato digestivo) y la reducción de calidad de la canal (principalmente mediante la modificación de la deposición de grasa). La selección para crecimiento rápido también podría favorecer un metabolismo energético glucolítico en el tejido muscular y en consecuencia desvirtuar la calidad de la carne, es decir, la terneza, mediante la reducción de la CRA y el pHu, el sabor y la jugosidad, por la carencia de lípidos intramusculares. Hay dos formas de reducir estos efectos negativos de selección: (1) aumentar el tamaño de la canal comercial o, (2) incluir alternativamente en los programas de selección características de la canal o rasgos de la carne, es decir, pHu, que muestra una correlación genética moderadamente alta y negativa con los parámetros de crecimiento. De esta manera, los híbridos pesados de crecimiento rápido pueden utilizarse cuando las canales son designadas para el mercado de cortes (Dalle-Zotte, 2002).

2.8.2.2 Factores biológicos: edad y peso.

El peso corporal del animal aumenta con la edad y este hecho hace que sea difícil atribuir un efecto sólo dependiente del peso del conejo o de su edad. Además, también es difícil comparar los resultados de investigación sobre este tema debido a la utilización de animales en diferentes grados de madurez y porque la mayoría de la investigación ha considerado el efecto de la edad variando el peso a la matanza (Rudolph & Fischer, 1979; Ouhayoun *et al.*, 1986; Poujardieu *et al.*, 1986; Parigi-Bini *et al.*, 1992; Xiccato *et al.*, 1993; Bernardini-Battaglini *et al.*, 1994; Dalle-Zotte *et al.*, 1995, 1996; Dalle-Zotte & Ouhayoun, 1995; Preziuso *et al.*, 1996; Gondret *et al.*, 1998; Juin *et al.*, 1998; Russo *et al.*, 1998; Jehl & Juin, 1999), o el efecto del peso mediante la variación de la edad a la matanza (Fraga *et al.*,

1983; Deltoro & López, 1986, 1987; Szendrő *et al.*, 1996). Sólo unos pocos estudios han separado el efecto de la edad (Cabanes-Roiron & Ouhayoun, 1994) del peso (Varewyck y Bouquet, 1982; Lambertini *et al.*, 1990; Grashorn *et al.*, 1996; Petracci *et al.*, 1999) y sólo uno ha valorado claramente el efecto de ambos (Roiron *et al.*, 1992) (Dalle-Zotte, 2002).

Durante el crecimiento de las diferentes partes del cuerpo, éstas se desarrollan a un ritmo diferente - alometría de crecimiento- y los cambios en los coeficientes alométricos de órganos y tejidos se producen en diferentes pesos corporales. Cantier *et al.* (1969), estudiaron el crecimiento relativo de los órganos y tejidos en los conejos adultos de 4.5 kg. Este estudio demostró que, con la excepción del tejido adiposo y la piel, los coeficientes alométricos de los demás órganos y tejidos suelen disminuir con el crecimiento. Esto explica el incremento en el rendimiento a la matanza como una función del peso a la matanza, pero también explica el aumento en el costo de la alimentación asociado con el rápido aumento de la tasa relativa de crecimiento del tejido adiposo sobre 2.1 kg de peso corporal vacío. Los cambios en la canal y en la calidad de la carne son marcados con la edad del animal o el peso a la matanza. Debido a los cambios de los coeficientes alométricos, el rendimiento de la canal aumenta hasta los 91 días o 98 días de edad. El estudio de Szendrő *et al.* (1996), que considera siete pesos a la matanza (de 2.2 a 3.5 kg), se subdividen a su vez por clases en graduaciones de 200 g: se mostró que el mejor rendimiento de la canal y carnosidad se obtuvieron de conejos que estaban en el rango de 3.2 a 3.4 kg. El aumento de la edad a la matanza, reduce las pérdidas por refrigeración y mejora la carnosidad de la canal. El aplazamiento de la edad a la matanza permite un mejor aprovechamiento del potencial de crecimiento, pero el aumento paralelo del contenido de grasa de la canal y el posterior empeoramiento del índice de conversión alimenticia, reduce el interés económico para la crianza de conejos mayores que los de una edad determinada, dependiendo de la precocidad de la línea utilizada (Dalle-Zotte, 2002).

La calidad global de la carne mejora a medida que aumenta el crecimiento. La carne aumenta su contenido de lípidos en detrimento del contenido de agua y del sabor o el olor a veces está más desarrollado. En un estudio de Juin *et al.* (1998), el aplazamiento de la edad de matanza del conejo hasta las 18 semanas mostró carne más tierna y menos fibrosa que la de conejos de 11 semanas, pero no se observaron diferencias significativas en jugosidad ni sabor. Por el contrario, algunas propiedades fisicoquímicas de la carne podrían empeorar con la edad. En algunos casos, como en el estudio de Hulot y Ouhayoun (1999), se observó que al aumentar la edad, el metabolismo energético glucolítico también aumentó y, correlativamente, el metabolismo oxidativo, el nivel de mioglobina y el pHu disminuyeron. La reducción del pHu correspondió a una disminución en la CRA en la carne cruda de conejo. Estos resultados, sin embargo, difieren con los de Parigi-Bini *et al.* (1992), y Bernardini-Battaglini *et al.* (1994), que no observaron ninguna reducción del pHu durante el crecimiento (de 9 a 13 semanas) en cinco músculos de la canal. Estos resultados contradictorios pueden deberse a diferencias en las condiciones de cría, en los distintos músculos analizados y, sobre todo, en las razas utilizadas por los diversos autores. La interacción de estos parámetros hace difícil la interpretación de los resultados y su comparación con otros estudios. También, teniendo en cuenta los altos costos de producción de un período de crianza más largo para obtener canales pesadas, el aplazamiento de la edad a la matanza a más de 13 semanas podría ser concebible sólo si se presentan canales de más alto valor añadido (Dalle-Zotte, 2002).

La edad-peso tiene un efecto significativo sobre el contenido de grasa diseccionable y el contenido de lípidos en músculo, ambos mayores en los conejos más pesados. Sin embargo, las otras características de la canal, es decir, la relación de los cortes y los músculos, el porcentaje de hueso y grasa, no fueron

influenciados por el peso de matanza. Cuanto más pesados fueron los conejos (2.2-2.6 kg), menor es el pHu promedio de sus músculos, ya sea si su peso se alcanzó a 70 o 77 días; ninguno de los autores citados anteriormente encontraron diferencias relevantes en la calidad de la carne. Grashorn *et al.* (1996), observaron que si los animales fueron sacrificados a una edad mayor (112 días), el pHu y las correspondientes características cualitativas de la carne no fueron influenciadas por el peso a la matanza (2.8 vs a 3.3 kg). Resultados contrarios obtuvieron Roiron *et al.* (1992): estos autores, estudiaron tanto el efecto de la edad a la matanza (70 y 77 días) y el peso (2.2, 2.4 y 2.6 kg) e hicieron hincapié en que el efecto del peso juega un papel más importante en características de la canal (rendimiento, carnosidad y adiposidad); sin embargo, el efecto de la edad es insignificante. Estas diferencias en los resultados dependen principalmente del corto alcance de las variables independientes elegidas, o del grado de madurez de los conejos utilizados. Al comparar conejos matados al mismo peso pero en diferentes edades, su calidad de la canal y de la carne depende de la rapidez con que habían llegado a ese peso. Cabanes-Roiron & Ouhayoun (1994) observaron que los conejos que alcanzaron el peso prefijado (2.45 kg) de forma temprana (62 vs 73 días), mostraron un mejor rendimiento del crecimiento, pero sus cualidades de la canal (rendimiento y carnosidad) fueron peores. Este resultado indica que cuando los conejos se caracterizan por un crecimiento rápido, el peso que poseen es un grado insuficiente de madurez de modo que sus características de la canal no están todavía completamente expresadas. Incluso si las propiedades sensoriales de la carne no se vieron afectadas por la tasa de crecimiento, el estudio de los autores antes mencionados sugiere que cuando se usan conejos de tasa de crecimiento rápido tienen que ser matados a una edad mayor (Dalle-Zotte, 2002).

2.8.2.3 Factores de alimentación.

La carne es a menudo considerada como rica en FA saturados y varios estudios epidemiológicos han demostrado una relación entre la ingesta de éstos y de enfermedades cardiovasculares. En consecuencia, la mayoría de los médicos recomiendan la reducción de su consumo. Sin embargo, el contenido de grasa de los músculos es más bien bajo y los FA no son todos saturados. En la carne de conejo, los FA insaturados representan el 54-60% del total de FA y la cantidad de PUFA, que representa más que el 23% del total de FA, es mucho mayor que la encontrada en otras carnes, incluyendo la de aves. Además, los PUFA en la carne de conejo son bien equilibrados entre las dos series, (n-6) y (n-3) y algunos PUFA de cadena larga están presentes (Dalle-Zotte, 2002).

Cuando se agregan niveles de grasa moderados a la dieta, el contenido de lípidos de la carne no varía de manera significativa, tanto en el músculo *Ld*, o en el cuerpo vacío, o en la carne de la canal entera. Sin embargo, cuanto más altas inclusiones de grasa se llevan a cabo, el contenido de grasa de la carne aumenta, mientras que el contenido de agua y proteína disminuye. La falta de jugosidad de la carne de conejo, sobre todo en el lomo, a veces se asocia con los bajos niveles de lípidos. El perfil de FA de los lípidos de conejo puede tener un efecto en las características tecnológicas de la carne. Los PUFA de cadena larga son los principales sustratos para la oxidación y ésta es una de las principales causas de deterioro en la calidad de la carne durante el almacenamiento y procesamiento. Los fosfolípidos contienen más PUFA de cadena larga que triglicéridos. Como los fosfolípidos de los músculos oxidativos contienen más PUFA de cadena larga que los glucolíticos, esta es una razón para la alta tendencia de estos músculos a oxidarse. Por lo tanto, cuando los aceites de la dieta aumentan el grado de poliinsaturación de los lípidos de la carne y la proporción de PUFA (n-3), también tienden a

aumentar la susceptibilidad del tejido muscular a la oxidación, a la formación de peróxidos y, eventualmente, a la rancidez; de lo contrario, no se observan diferencias en la oxidación de grasas. Afortunadamente, debido al hecho de que la carne de conejo es más pobre en hierro en comparación con otras carnes, lo que es un pro-oxidante de los fosfolípidos de PUFA, su oxidación lipídica es menos acentuada (Dalle-Zotte, 2002).

2.8.2.4 Factores tecnológicos.

La transición de músculo a carne se acompaña de cambios cuantitativos en varios metabolitos (glucógeno, ácido láctico, ATP, fosfato) y propiedades físicas (pH, fuerza iónica, contractibilidad). El proceso de glucólisis puede variar ampliamente entre las canales de acuerdo con el tratamiento administrado en el inicio del período *post-mortem* y puede ser fácilmente manipulado. Las propiedades de la carne que son de mayor interés para el consumidor se ven fuertemente afectadas por los tratamientos de la canal en las primeras horas *post-mortem*. El tipo de enfriamiento puede influir moderadamente en la CRA de la carne, la evolución bioquímica del músculo en carne, y el desarrollo de bacterias, dependiendo de la fuerza con que puede influir en el establecimiento del pHu. Por razones higiénicas, las canales deben enfriarse rápidamente. Cuanto más rápido es el enfriamiento de la canal (por ejemplo, 2 vs 12°C durante las primeras 3 h de enfriamiento), menor es la velocidad a la que se alcanza el pHu, resultando a veces en mayor CRA y rendimiento de las canales. Sin embargo, la contracción muscular se incrementa también. Afortunadamente, si el proceso de enfriamiento se produce a la temperatura del aire por encima de cero, la intensidad de esta contracción es raramente alta y del mismo modo no puede afectar a la terneza de la carne de conejo. Por el contrario, si la refrigeración se produce a temperaturas próximas a/o por debajo de 0°C, el agotamiento del ATP y el inicio del *rigor mortis* pueden acelerarse debido a una anomalía en el metabolismo energético de los músculos glucolíticos a baja temperatura. La duración del enfriamiento también se debe tener en cuenta. Si las canales de conejo se someten a un corto enfriamiento, las reservas de energía musculares no están completamente agotadas y la carne aparece exudativa y con alto pHu. Este estado favorece el desarrollo de microorganismos, comprometiendo así la calidad higiénica y la vida útil de la carne (Dalle-Zotte, 2002).

La combinación de tratamientos de procesamiento en la canal puede tener un mayor efecto en la "calidad" de la carne que en los factores de producción, incluyendo los sistemas de alimentación. Los cambios en la calidad de la carne durante el almacenamiento en refrigeración se ven fuertemente afectados por diferentes factores: temperatura, duración, interrupciones de la cadena de frío, embalaje, etc. El valor de pH representa un papel clave en la preservación de la calidad de la carne durante el almacenamiento. De hecho, éste determina el equilibrio microbiano del ambiente. El pHu bajo tiene un efecto bacteriostático, incluso en las carnes. En consecuencia, las carnes con valores de pHu por encima de 6 son generalmente consideradas no aptas para el almacenamiento debido a que son un medio favorable para la evolución de microorganismos proteolíticos. Durante el almacenamiento en refrigeración (2-4°C) que sigue al enfriamiento, el pH de la carne tiende a subir debido al aumento de los niveles de nitrógeno amoniacal. De vez en cuando, el pH sigue bajando durante la refrigeración si el oreado anterior fue demasiado corto y no se permitió consumir las reservas de energía musculares. Sin embargo, la variación del pH también puede mostrar una tendencia cuadrática (5.81-5.91 a los 8 días, 5.88 a los 12 días) durante 12 días de almacenamiento a 2°C, lo que se explica por dos mecanismos coetáneos: un aumento en el nivel del nitrógeno

amoniacal, que alcaliniza la carne, y la formación de FA libres, que tienden a acidificarla (Dalle-Zotte, 2002).

El almacenamiento en congelación amplía aún más la capacidad de conservación de la carne. El congelamiento profundo (temperatura del núcleo de -18°C dentro de 2.30 h) preserva mejor la integridad de los tejidos si se compara con métodos de congelación ordinarios (-12°C alcanzado más tarde) y la CRA es mayor. Si se compara con la carne fresca, la carne congelada tiene menor CRA y su color parece menos agradable, cualquiera que sea la duración del almacenamiento. Sin embargo, como la reducción en la CRA es más un resultado de la lesión del tejido causada por el proceso de congelación y descongelación que por variaciones en el pH durante el almacenamiento, podría ser posible limitar el alcance de este fenómeno al hacer la descongelación de la carne de forma paulatina (4°C). Sin embargo, las pérdidas por descongelación son bastante moderadas y ni las pérdidas por cocción ni la terneza son influenciadas por el proceso de congelamiento. El almacenamiento en congelación no detiene las reacciones enzimáticas (principalmente hidrolíticas) por completo por lo que el proceso de maduración continúa. Durante la congelación, se ha demostrado que el pH permanecerá estable hasta 3 meses, seguido por un aumento progresivo hasta 15 meses (según Dalle-Zotte *et al.*, 1998) o 18 meses (según Cabanes *et al.*, 1996). Este almacenamiento también hace empeorar algunos parámetros-indicadores químicos de la evolución bioquímica de la carne. Por lo tanto, el nitrógeno volátil total (TVN), un indicador de la desaminación de las proteínas y, el valor de la prueba TBA, un indicador de la oxidación de lípidos, son más altos en carne congelada que en las carnes refrigeradas. El tiempo de congelación ligero o más intensamente aumenta las pérdidas de descongelación de la canal o de sus cortes, respectivamente. La congelación prolongada empeora significativamente la TVN, que aumenta hasta los 15 meses de almacenamiento, para estabilizarse a los 18 meses y, el TBA, que aumenta hasta los 9 meses, varía de forma irregular hasta los 18 meses. Los ensayos sensoriales realizados por estos autores mostraron que la carne refrigerada es preferible a la congelada, si se evalúa cruda, pero no se encontraron diferencias si se cocinan. Estos estudios afirman que las variaciones físico-químicas que se producen durante el almacenamiento en congelación no afectan a las características sensoriales de la carne cocida, hasta los 12 meses. Después, la estabilidad de lípidos y proteínas se ve comprometida con un efecto directo sobre los atributos sensoriales (Dalle-Zotte, 2002).

2.9 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CARNE.

Las propiedades sensoriales de la carne son cruciales para la elección del consumidor. Las variables más importantes son, el aspecto (color y consistencia de la carne cruda), la textura (terneza y jugosidad) y el sabor (sabor, olor y aroma). En el caso de la carne de conejo, ésta puede cambiar de apariencia con el tiempo de almacenamiento: puede oscurecerse y secarse o humedecerse de acuerdo al sistema de empaçado, con consecuencias en su aceptabilidad. De hecho, el consumidor asocia frescura y calidad con un buen color de la carne magra (Dalle-Zotte, 2002). Estos aspectos sensoriales de calidad de la carne pueden ser evaluados objetivamente midiendo algunos rasgos biofísicos o bioquímicos, tales como el pH, la capacidad de retención de agua (CRA), el color, la textura instrumental, la cadena pesada de miosina I y las actividades enzimáticas (Ramírez *et al.*, 2004).

2.9.1 Terneza.

La terneza es considerada la característica más importante de calidad de la carne seguida por la jugosidad y el sabor (Paredi *et al.*, 2013). Es por esto que, el entendimiento de los parámetros metabólicos en la tenderización de la carne, así como la base estructural y molecular, son requeridos para optimizar el almacenamiento y procesado de la carne (Mestre-Prates *et al.*, 2001).

Las características de calidad en los músculos están influenciadas por un número diferente de factores: genéticos, ambientales y condiciones de proceso; existen tres factores principales que determinan la terneza de la carne, éstos son: la instauración del rigor, la fase de endurecimiento y la fase de ablandamiento (tenderización), teniendo las dos últimas fases lugar durante el periodo de almacenamiento *post-mortem*. La fase de endurecimiento se relaciona con el acortamiento del sarcómero causado por la contracción muscular durante el desarrollo del rigor, mientras que la fase de tenderización es el resultado de la degradación de las proteínas estructurales (Paredi *et al.*, 2013).

La maduración de la carne es un complejo proceso multifactorial que depende de muchos factores, como la especie animal y el tipo de fibra muscular. Sin embargo, se acepta en general que las causas y mecanismos responsables de la tenderización de la carne son los mismos en todos los músculos y las especies animales. Entre los muchos factores que se han sugerido como determinantes de la terneza de la carne son los iones de calcio, los procesos oxidativos, el sinergismo entre la presión osmótica y las endopeptidasas, las catepsinas, las calpaínas, la sinergia entre las catepsinas y calpaínas y el proteosoma (Mestre-Prates *et al.*, 2001).

La terneza de la carne depende de los cambios en las proteínas miofibrilares durante el estado *post-mortem* y sobre el tejido conectivo; no sólo depende de la cantidad de colágeno, también depende de su solubilidad. De acuerdo con Bailey (1985), la edad (y, por consiguiente, el grado de madurez), afecta la estructura del colágeno. El contenido de colágeno en el músculo *Ld* de conejo es mayor (6.80 mg/g de carne fresca) que el observado en el músculo *Ld* de cerdo de 160 días de edad (5.0 mg/g de carne fresca), músculo *Longissimus thoracis* (*Lt*) en bovinos de 14 meses de edad (3.4-5.8 mg/g de carne fresca) o músculo *pectoralis* en aves de 210 días de edad (3-4 mg/g de carne fresca). El alto contenido de colágeno está asociado a un incremento en la dureza de la carne. Sin embargo, el papel del colágeno en la terneza cárnica no sólo depende del contenido de éste, sino también de su solubilidad o su entrecruzamiento. La solubilidad es mayor en carne de conejo (47.6%) comparada con el músculo *Lt* de cerdos de 115 kg de peso vivo (12-13%), *Lt* en bovinos de 14 meses de edad (34-44%) y músculo *pectoralis* en aves de 210 días de edad (30-40%). Conforme aumenta la edad, la síntesis de colágeno no se modifica, pero la fracción reticulada, más resistente a la acción de la colagenasa, se incrementa y, en consecuencia, la degradación del colágeno es menor (Pascual & Pla, 2007).

Se ha sugerido que la fosforilación de las proteínas musculares desempeña un papel importante en el proceso *post-mortem* y, por lo tanto, en la calidad de la carne; también, se ha relacionado con el contenido de grasa intramuscular y con la terneza de la carne en el ganado vacuno. Se ha demostrado que la fosforilación de la miosina de cadena ligera reguladora participa durante el *rigor mortis* en la contracción muscular y, en consecuencia, en la terneza de la carne en el músculo *longissimus* bovino. Recientemente, a través del enriquecimiento preliminar de TiO₂ de fosfopéptidos, seguido por análisis de espectrometría de masas a través de la disociación inducida por colisión (CID) y la disociación en la transferencia de electrones (ETD), se observó que, en el *Ld* de ganado Chianina y

Maremmiana, mayores niveles de fosforilación de las proteínas estructurales estaban relacionados con un índice de degradación miofibrilar inferior, mientras que una mayor fosforilación de enzimas glucolíticas resultó en una reducción en su actividad enzimática. La hipótesis de la "inhibición enzimática inducida por fosforilación" en la conversión del músculo a carne tierna se sustenta aún más por la observación reciente de que el proceso de ablandamiento de la carne inducida mediante estimulación eléctrica parece estar relacionado con los niveles de fosforilación, lo cual es consistente con la activación de quinasas sensibles al calcio resultantes de la liberación de Ca^{2+} desde el retículo sarcoplásmico durante la conversión de músculo a carne, de una manera similar a como ocurre durante la apoptosis (D'Alessandro & Zolla, 2013).

Proteínas musculares específicas son degradadas durante el proceso *post-mortem* muscular en condiciones de refrigeración y existen investigaciones que demuestran que las proteasas de cisteína, en particular las calpaínas, son en gran parte responsables de esta degradación. La medida en que los cambios *post-mortem* en la terneza son debidos a la degradación es ampliamente debatida, ya que la mayor mejora en la terneza después del rigor es observada dentro de las 24 ± 48 h, cuando todavía la degradación de las proteínas miofibrilares no se considera extensa. De hecho Davey & Gilbert (1966), encontraron que sólo el 2.3% de las proteínas de la carne se degradaban después de 30 días de almacenamiento a 2°C . A pesar de estos hallazgos, es posible que la degradación de proteínas estratégicas pueda tener un efecto significativo en la estructura de la carne y su terneza (Hopkins & Thompson, 2001).

Se ha propuesto que el debilitamiento de los enlaces entre la actina y la miosina también puede contribuir al aumento de la terneza observada en el período post-rigor inmediato. La evidencia que apoya que esta interacción puede repercutir en la terneza aparte de su efecto en la contracción y la densidad de las fibras fue proporcionada por Stein, Schwarz, Chock & Einsberg (1979), quienes propusieron el llamado "modelo del estado-refractario-modificado" de la contracción muscular en el que existen tanto estados débiles y fuertes de puentes cruzados entre la actina y la miosina. En un estudio de la actina y la actomiosina hecho por dos Remedios & Moens (1995), se dijo que "debemos tener en cuenta al menos dos estados de la unión actina-miosina, un estado de alta afinidad y uno de baja afinidad" y sugirieron que probablemente hay más de dos. Si esto es así, entonces la actomiosina tiene el potencial de existir en diferentes estados de unión en el rigor lo que puede afectar la maduración de la carne y el nivel absoluto de terneza alcanzada. También se afirma que la interacción entre la actina y la miosina puede ser alterada por la translocación de la paratropomiosina bajo la influencia del incremento post-rigor de la concentración de Ca^{2+} . Una de las observaciones que se utilizan para apoyar la teoría del Ca^{2+} en la tenderización fue el aumento post-rigor de la longitud en el sarcómero reportado en algunos experimentos. Esta misma observación fue usada por Goll, Geesink, Taylor & Thompson (1995), para sugerir que el cambio en las propiedades de la actomiosina post-rigor se debe a otros factores, los cuales pueden afectar la tenderización, aunque se reconoce que las calpaínas tenían un papel importante en este proceso (Hopkins & Thompson, 2001).

El aumento de la facilidad con la que la actomiosina del músculo de conejo adulto se disocia por ATP en comparación con aquella del músculo en rigor es uno de los hallazgos que se utilizan para apoyar la teoría de que la interacción de actina y miosina impacta en la terneza. Sin embargo, Wolfe & Samejima (1976), no encontraron tal cambio en los músculos de conejos y pollos y los datos de Herring, Cassens, Fukazawa & Briskey (1969), para el músculo de bovino fueron ambiguos. En ninguno de estos estudios era posible el efecto de la proteólisis en la interacción de la actina y la miosina, a través de la degradación de la troponina u otras proteínas representadas (Hopkins &

Thompson, 2001). Se ha demostrado claramente que la troponina T se somete a degradación para producir una subunidad de 30 kDa (Mestre-Prates *et al.*, 2001; Hopkins & Thompson, 2001). La nebulina es también degradada y Root & Wang (1994), han propuesto que esta proteína estaba involucrada en la regulación de la interacción entre la actina y la miosina (Hopkins & Thompson, 2001).

Las propiedades mecánicas del colágeno no son alteradas durante la maduración, lo que sugiere que la mejora *post-mortem* en la terneza de la carne debe ser atribuida a los cambios miofibrilares (“la resistencia miofibrilar”). La formación de una proteína de 30 kDa y el debilitamiento de la estructura miofibrilar, dos de los principales cambios que ocurren durante la maduración de la carne, se han relacionado con la terneza y propuesto como índices de maduración de la carne. La aparición de una proteína de 30 kDa durante el almacenamiento de la carne a temperaturas de refrigeración es el principal cambio en el perfil electroforético (SDS-PAGE) de las proteínas miofibrilares (Mestre-Prates *et al.*, 2001).

El debilitamiento de la estructura miofibrilar, con la consecuente fragmentación transversal de sarcómeros, es también un cambio miofibrilar importante que se produce durante la maduración de la carne. En los últimos años, se demostró que la fragmentación mecánica de las miofibrillas se produce en la línea N2, y no a nivel de la línea Z, tal como proponía la “teoría del disco Z”. Este cambio estructural es bien correlacionado con la terneza de la carne y su cuantificación, por los índices de fragmentación miofibrilar, también se propone como un índice de maduración de la carne para muchas especies de animales y músculos. Las peptidasas (hidrolasas peptídicas, EC 3.4) serina endógena y aspártica no tienen ningún papel importante en el ablandamiento que se produce durante la maduración de la carne de conejo. Sin embargo, existen otras endopeptidasas (EC 3.4.22) dentro de las miofibrillas, a saber: calpaínas (EC 3.4.22.17), que son neutras y citosólicas, y las catepsinas B (EC 3.4.22.1), L (EC 3.4.22.15) y H (EC 3.4.22.16), que son ácidas y lisosomales. Estudios llevados a cabo en conejos, sugieren fuertemente que las peptidasas endógenas de cisteína juegan un papel importante en la tenderización de la carne de conejo a temperaturas de refrigeración, posiblemente debido a las calpaínas, para los diferentes tipos de músculos. Los resultados también sugieren que las catepsinas B, L y H no tienen ningún papel en el ablandamiento de carne de conejo durante la refrigeración (Mestre-Prates *et al.*, 2001).

La formación del fragmento de 30 kDa, evaluado por análisis de SDS-PAGE, se produce en los músculos *semimembranosus accessorius* y *psaos major* (tipo II), pero no en el músculo *semimembranosus proprius* (tipo I) de carne de conejo. Estos resultados se pueden explicar por la menor susceptibilidad de las miofibrillas de tipo I a la proteólisis, ya que los niveles de endopeptidasa son más altos en los músculos tipo I que en los tipo II. Los resultados indican claramente que la formación del fragmento de 30 kDa durante la maduración de la carne de conejo (sólo para los músculos de tipo II) depende de la proteólisis enzimática mediada por peptidasas de cisteína, posiblemente calpaínas (Mestre-Prates *et al.*, 2001).

2.9.1.1 Medición de la terneza.

Es probablemente la cualidad más investigada de los atributos de la carne (Hui *et al.*, 2012) y para su evaluación se han utilizado ampliamente métodos mecánicos desde los años treinta. Éstos incluyen

métodos invasivos, como la compresión, tracción y cizallamiento (Damez & Clerjon, 2008; Hui *et al.*, 2012), que requieren de muestreo y los métodos no invasivos, como las pruebas directas o de resonancia que se pueden realizar en los músculos intactos. La prueba de la fuerza de cizallamiento Warner-Bratzler (WBSF) utiliza un aparato para medir la fuerza de corte máxima (Damez & Clerjon, 2008). La carne o el producto cárnico se corta hasta un espesor definido; una sonda de extremo plano penetra dos veces o aplasta la muestra a una velocidad establecida para lograr una profundidad final del 80% de espesor. Las dos curvas de fuerza-tiempo más o menos triangulares establecen la dureza (fuerza máxima en el primer golpe), y otros datos tales como elasticidad y la cohesividad (Hui *et al.*, 2012).

Las mediciones WBSF clásicas se utilizan ampliamente, pero los resultados generalmente muestran discrepancias en la terneza cuando se estima por un panel sensorial entrenado (TSP) u otras medidas objetivas (Tornberg, 2005; Damez & Clerjon, 2008). Estas discrepancias se derivan de la orientación de la muestra, con las mediciones tomadas en la orientación paralela (a lo largo de la longitud del músculo) siendo más consistente en la predicción de la terneza que las mediciones en la orientación perpendicular. Por otra parte, las mediciones WBSF difieren entre la carne cruda y cocida. A pesar de (i) las precauciones que han de tomarse en la orientación de la muestra debido a las variaciones en la dirección de la fibra muscular y, (ii) la naturaleza destructiva; el método WBSF sigue siendo el más ampliamente utilizado para evaluar la dureza de la carne (Damez & Clerjon, 2008).

2.9.2 pH.

El pH de la carne tiene efectos importantes en el color, la estabilidad microbiana y la calidad alimenticia (Hui *et al.*, 2012). Depende de varios factores, entre otros, de la condición *ante-mortem* del animal y del tiempo posterior al almacenamiento. En el primer caso se pueden presentar las condiciones de carne PSE y carne oscura. La condición PSE (pálida, suave y exudativa) se refiere a las características que presenta la carne –principalmente la de cerdo– en lo que toca a la falta de coloración, suavidad excesiva al corte y pérdida rápida de fluidos al calentarse. Es el resultado del estrés o tensión del animal durante la matanza, ya que el ATP se degrada rápidamente, cuando la carne está aún a temperaturas superiores a 30°C. El resultado es que el pH final de la carne (5.5) se alcanza muy rápidamente. La condición contraria, la carne oscura, ocurre cuando el animal sufre estrés antes de la matanza, por ejemplo, durante el transporte hacia el rastro o en los corrales de ayuno. En consecuencia, agota su contenido de glucógeno y al ocurrir la matanza no hay suficiente cantidad de carbohidratos para reducir el pH hasta 5.5, por lo que éste queda en un valor mínimo de 5.8. El resultado es una carne de coloración intensa, seca y de dureza anormal. Además, un pH alto favorece la contaminación bacteriológica. El pH de la carne aumenta durante el almacenamiento por la formación de compuestos aminados resultantes de la putrefacción (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

En la carne PSE, el pH desciende mientras la canal está todavía caliente, causando una desnaturalización parcial de las proteínas y un aumento de la cantidad de luz dispersada, parte del pigmento se oxida y la carne aparece pálida. Por el contrario, la carne DFD aparece con un pH final alto; las fibras musculares están hinchadas con agua, la penetración del oxígeno es baja, la actividad respiratoria de las enzimas supervivientes es alta. Hay poca dispersión de la luz en la superficie y la carne aparece oscura (Ranken, 2003).

La humedad de la carne depende de la CRA y ésta, a su vez, depende del pH, de la concentración de proteínas hidrofílicas y de la presencia de iones (Ca, Cl, K, Na, PO₃, etc.). A un pH de 5.8 a 6.0, la CRA es máxima, mientras que un alejamiento de este punto provoca la desnaturalización de proteínas y, por lo tanto, una baja en la CRA (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

2.9.2.1 Medición del pH.

El pH normalmente se mide con un electrodo afilado el cual, al estilo de una sonda, después de la calibración, se inserta en un corte de carne para obtener una lectura. En una técnica anterior, una muestra de 1 gramo se escindía de la carne y se homogenizaba en 10 ml de agua; el pH se medía a continuación en la suspensión (Hui *et al.*, 2012).

2.9.3 Color.

Es probablemente el atributo que determina en mayor medida la aceptación o rechazo del producto. En ausencia de un material pigmentante, el color de la carne fresca depende del color inicial de ésta y de cómo se procesó. El color depende de la cantidad de hemopigmentos presentes: mioglobina y hemoglobina (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001). Un objeto aparece coloreado cuando algunas de las longitudes de onda de la luz son selectivamente absorbidas. Cuando un objeto se ve a la luz reflejada su color depende de la naturaleza de la luz que le ilumina ya que diferentes fuentes luminosas contienen cantidades diferentes de luz de distintas longitudes de onda. Los cambios que tienen lugar durante la reflexión de la luz están relacionados con la naturaleza de los pigmentos presentes en la carne y la cantidad de luz reflejada desde debajo de la superficie de ésta, que depende en parte de la estructura física de la carne, por ejemplo, si se ha precipitado la proteína soluble, se producirá la dispersión de la luz y la carne por lo tanto, aparecerá pálida (Ranken, 2003).

2.9.3.1 Color de la carne refrigerada. Mioglobina.

La mioglobina es la proteína responsable del color de toda la carne. El contenido de mioglobina en el tejido muscular varía con la especie, el sexo y la edad cronológica del animal y el músculo en particular. Las necesidades de oxígeno de un músculo en particular determinan en gran medida su contenido de mioglobina; el contenido de mioglobina del tejido muscular magro en ternera y cerdo varía en rangos de 0.5 a 2 mg/g de tejido húmedo. La carne de bovino joven contiene de 2 a 4 mg de mioglobina por gramo de tejido húmedo, mientras que la carne de vacuno maduro contiene de 4 a 8 mg/g. En carne blanca de aves de corral es generalmente menor que 0.5 mg/g, mientras que el de la carne oscura varía de 2 a 4 mg/g. El tejido muscular magro de ovino contiene de 4 a 8 mg/g de tejido húmedo. La mioglobina es una proteína muy dinámica que puede conducir fácilmente a cambios en el color, dependiendo de su entorno inmediato; es una proteína de estructura compleja que incluye tanto una porción de proteína y una porción no proteica. La porción no-proteica es llamada "grupo

hemo" y se compone de dos partes, un átomo de hierro y un anillo de porfirina. Por esta razón, la mioglobina es a menudo llamada "proteína hemo" (Romans *et al.*, 2001).

El análisis de la molécula revela que hay seis sitios de unión para el átomo de hierro (Fe) en el grupo hemo. Cuatro de estos sitios se utilizan en la estabilización del anillo de porfirina, un sitio de unión se utiliza para vincular la porción de proteína (la globina) al grupo hemo y, el sexto sitio es libre para interactuar con una serie de elementos químicos. El color de la carne se determina en gran parte por el compuesto químico presente en este sexto sitio y por el estado redox del átomo de hierro (Fe⁺² o Fe⁺³). El estado físico de la globina también influye en el complejo de color que se forma tal como se puede observar en el cuadro 2.9.1. La desnaturalización térmica (la cocción) de la globina resulta en un color marrón a gris de la carne, a menos que el óxido nítrico (NO) esté presente en el sexto sitio de unión (Romans *et al.*, 2001).

Cuadro 2.9.1 PIGMENTOS HEMO DEL MÚSCULO

FORMAS DEL PIGMENTO	ESTADO REDOX Fe	ELEMENTO EN EL 6 ^{to} . SITIO	ESTADO DE LA GLOBINA	ESTADO DEL GRUPO HEMO	COLOR
MIOGLOBINA	Fe ⁺²	H ₂ O	NATURAL	INTACTO	ROJO PÚRPURA
OXIMIOGLOBINA	Fe ⁺²	O ₂	NATURAL	INTACTO	ROJO BRILLANTE
METAMIOGLOBINA	Fe ⁺³	H ₂ O	NATURAL	INTACTO	PARDO
MIOGLOBINA DESNATURALIZADA	Fe ⁺²	H ₂ O	DESNATURALIZADA	INTACTO	PARDO
NITROSOMIOGLOBINA	Fe ⁺²	NO	NATURAL	INTACTO	ROJO BRILLANTE
NITROSOHEMOCROMO	Fe ⁺²	NO	DESNATURALIZADA	INTACTO	ROJO BRILLANTE (O ROSA)
SULFAMIOGLOBINA	Fe ⁺³	H ₂ S	DESNATURALIZADA	INTACTO PERO REDUCIDO	VERDE
COLEMIOGLOBINA	Fe ⁺² o Fe ⁺³	H ₂ O ₂	DESNATURALIZADA	INTACTO PERO REDUCIDO	VERDE
PORFIRINAS LIBRES Y OXIDADAS	Fe	AUSENTE	AUSENTE	ESTRUCTURA DEL ANILLO DESTRUIDA- CADENAS ABIERTAS	AMARILLO INCOLORO

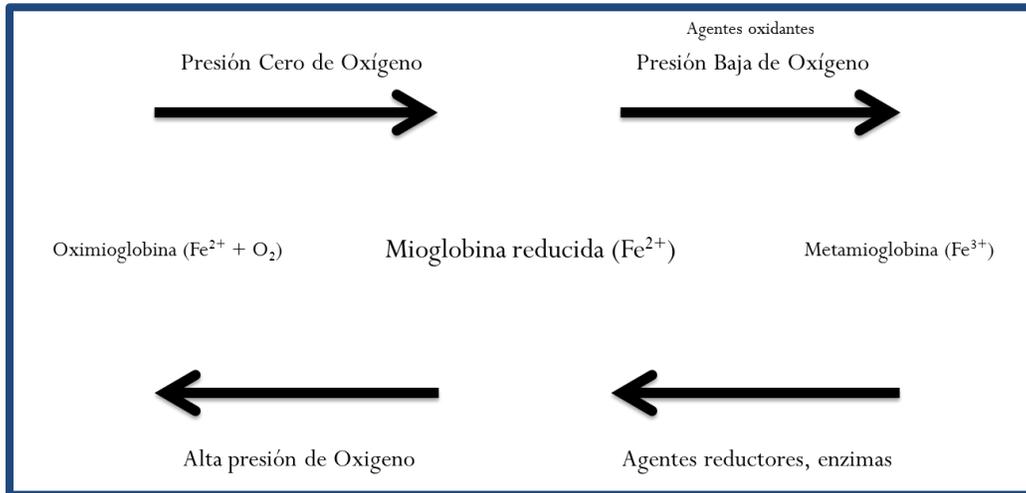
NO: Óxido nítrico.

Tomado de Romans *et al.* (2001).

La mioglobina reducida, oximioglobina y metamioglobina están todas presentes en la carne refrigerada, en equilibrio unas con otras, relación que se muestra en el cuadro 2.9.2. En el centro de una pieza de carne no hay oxígeno y el pigmento está en forma de mioglobina reducida púrpura. En la superficie de esta pieza hay un buen aporte de oxígeno y se forma oximioglobina, de color rojo brillante. Entre estas dos zonas está una región de baja concentración de oxígeno, que favorece la oxidación del pigmento hasta metamioglobina. Las proporciones relativas de los tres pigmentos dependen de las condiciones existentes en la carne. La metamioglobina no puede tomar oxígeno pero las enzimas presentes en la carne refrigerada son capaces de reducir la metamioglobina a mioglobina reducida que puede así tomar oxígeno para formar oximioglobina. Con la maduración de la carne, el

sustrato de estas enzimas es gastado gradualmente; la metamioglobina no puede ser reducida más y la metamioglobina se hace más amplia hasta que se hace visible. Esta es una explicación simplificada, ya que otros factores como la carga bacteriana y la progresiva pérdida de agua también influyen en los cambios de color de la carne (Ranken, 2003).

Cuadro 2.9.2 RELACIÓN QUÍMICA ENTRE LOS PIGMENTOS DE CARNE REFRIGERADA



Tomado de Ranken (2003).

Existen varias causas que afectan el color de la carne refrigerada, siendo la más importante la concentración de los pigmentos, ya que ésta varía mucho entre las diferentes carnes, debido a varios factores importantes:

- Especie animal. La carne de bovino, por ejemplo, contiene más mioglobina que la del cerdo.
- Raza.
- Edad. La concentración de pigmento aumenta con la edad.
- Sexo. Ordinariamente la carne de animales machos contiene más pigmento que la de hembras.
- Función muscular. La función de la mioglobina es almacenar oxígeno, por lo tanto, los músculos que realizan más trabajo contendrán más mioglobina.
- Variaciones dentro de los músculos (Ranken, 2003).

2.9.3.2 Color de la carne congelada.

La congelación rápida origina la formación de pequeños cristales de hielo que causan mucha dispersión de la luz, proporcionando a la carne una apariencia pálida y opaca. La carne congelada lentamente tiene cristales de hielo más grandes, que dispersan menos la luz, de tal manera que la carne tiene una

aparición oscura, traslúcida. Estos cambios desaparecen al descongelar la carne. La formación de metamioglobina es máxima a -12°C aproximadamente; probablemente esto se debe a que a esta temperatura solamente parte del agua está congelada, las sales se concentran en la porción no congelada y la alta concentración de sal promueve la oxidación de los pigmentos. El cambio de coloración es acelerado en gran medida por la luz. El color rojo de la carne se conserva mejor cuando el almacenamiento se hace en la oscuridad a -18°C o por debajo (Ranken, 2003).

2.9.3.3 Color de los productos cárnicos curados.

El color final y la capacidad para retener ese color en estos productos se encuentran afectados por numerosos factores. Estos factores incluyen el contenido de mioglobina del músculo, el pH, la cantidad y uniformidad de la dispersión de nitrito en el músculo, la condición microbiológica de la carne, la exposición a la luz y el oxígeno después de la transformación y, el tipo de embalaje utilizado. Cuando el nitrito (NO_2) se combina con la carne, con el tiempo se reduce a óxido nítrico (NO). La reducción de NO a menudo se acelera por el uso de ascorbato o eritorbato, que actúan como fuertes agentes reductores. El NO tiene una mayor afinidad por el sexto sitio de enlace del grupo hemo que el agua; por lo tanto, el pigmento mioglobina se convierte fácilmente en nitrosomioglobina, un pigmento intermedio relativamente inestable en el proceso de curado. La cocción de la carne (calor) desnaturaliza la globina (parte proteica), cosa que, a su vez, tiene un efecto estabilizador sobre la unión entre el NO y el grupo hemo. El pigmento posterior, llamado nitrosohemocromo, resulta en el típico color rosa brillante asociado con las carnes curadas. Asimismo, la estabilidad del pigmento nitrosohemocromo está influenciada por la tensión del oxígeno, la luz, y otros factores. La decoloración del color rosado brillante deseable de carnes curadas se producirá cuando se exponen a la luz y el oxígeno. Es por esto que el ambiente y el tipo de empaque son importantes en estos productos (Romans *et al.*, 2001).

2.9.3.4 Medición del color.

El color de la carne se mide por muchas razones incluyendo la clasificación y la cuantificación de la cinética del cambio de color mostrado (Hui *et al.*, 2012). La medición del color se puede llevar a cabo de dos formas:

- a) Siguiendo los cambios de color, de forma visual e instrumental.
- b) Midiendo el estado químico de la mioglobina y sus derivados (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

En el caso de la evaluación por un panel, las técnicas habituales de evaluación sensorial son las pruebas de discriminación, la intensidad y la preferencia. Cualquiera de estas pruebas se ve complicada por la heterogeneidad de la carne y el entorno de prueba. Por ejemplo, los panelistas que califican la aceptabilidad del color de carne magra pueden inconscientemente estar influenciados por el color de la grasa asociada (Hui *et al.*, 2012).

El color puede ser definido y medirse por comparación con un patrón que se acepta como referencia, o través de la medición instrumental de las partes constituyentes de ese color, como cantidades relativas de cada longitud de onda que, sumadas, producen el color que se estudia. En los métodos instrumentales de medición del color, éste se considera como un fenómeno de la superficie de un objeto opaco. La superficie de la carne refleja la luz en muchos ángulos, creando una reflectancia difusa de varias longitudes de onda, que son funciones del color del objeto. Es debido a la reflectancia difusa de la luz incidente que se puede hacer una descripción física del color real de la carne, por medio de métodos colorimétricos (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

Un colorímetro es un instrumento que reproduce óptica y electrónicamente la sensación percibida por el ojo humano (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001). La mayoría de los procedimientos de investigación y de control de calidad contemplan el uso de colorímetros de reflectancia, los cuales expresan el color de la carne en términos de diferencias de color de un estándar designado. Sin embargo, a pesar de que este tipo de instrumentos aseguran altos niveles de precisión y de reproducibilidad, están diseñados para superficies opacas, mientras que la carne es un material translúcido y puede dispersar gran parte de la luz, reduciendo la reproducibilidad de la medición y la comparación de los valores del color (Hui *et al.*, 2012). Es por esto que, a fin de tener una reproducción de esta percepción del color se definen varios sistemas. Entre los más importantes está el sistema CIE (Comission International de l'Eclairage, Comisión Internacional de la Iluminación) y el Sistema Hunter (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

El sistema CIE se basa en la suposición de que en el ojo humano hay tres mecanismos de respuesta al color (rojo, verde y azul). Cualquier color puede ser una mezcla de estos tres colores primarios. La cantidad necesaria de cada color primario para obtener un color determinado se obtiene integrando cada uno de los valores del triestímulo sobre una longitud de onda dada, generalmente de 380 a 780 nm (intervalo visible) (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

Cuando se utiliza el sistema Hunter Lab se usan escalas opuestas del color, que se basan en la Teoría de Hering acerca de la visión en color. Dicha teoría propone que en el ojo se comparan el color rojo con el verde y el amarillo con el azul para definir la tonalidad percibida. Esta teoría se transforma a dos dimensiones del color: a^* (rojo a verde) y b^* (amarillo a azul). Se define también una tercera coordenada: L^* (luminosidad), que es perpendicular a estas dos y define un espacio (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001). L^* expresa la luminosidad, donde el 0 está asociado con el negro (completa absorción de la luz) y 100 con el blanco (reflexión completa). El valor a^* indica el nivel de enrojecimiento (o verdor), ya que los dos colores son complementarios, que van desde -60 (verde puro) a 60 (rojo puro). Por último, b^* indica la amarillez (o un tono azulado); también van desde -60 (azul puro) a 60 (amarillo puro). El ángulo de Tonalidad es el arco tangente de b^*/a^* determinado por la rotación alrededor de los ejes a^* y b^* y define el color (Hui *et al.*, 2012).

Estas coordenadas cartesianas se pueden transformar en coordenadas polares de la siguiente forma:

$$\text{Tonalidad} = \tan^{-1} b/a$$

$$\text{Cromaticidad} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\text{Luminosidad} = L^*$$

La Tonalidad más cercana al rojo es el ángulo más próximo a cero. El color más intenso es un valor de Cromaticidad más alto. El color más pálido es el valor de L* más alejado de cero (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

Instrumentalmente, las muestras se comparan con un patrón de color definiendo las coordenadas L*, a* y b*, que serán las de una muestra patrón. La cercanía o lejanía de las coordenadas de la muestra problema darán como resultado la desviación del color respecto a un color ideal (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

2.9.4 Capacidad de retención de agua.

El agua es el principal constituyente de la carne, que representa aproximadamente el 75% del peso total de ésta. La capacidad inherente de la carne para retener agua, definida como la capacidad de retención de agua (CRA), es un parámetro esencial de calidad tanto para la industria como para el consumidor. Para la industria, la CRA de la carne fresca se sabe que influye en su calidad tecnológica, es decir, en el rendimiento del procesamiento. Para el consumidor, una CRA baja tiene un impacto perjudicial en la apariencia de los cortes de carne fresca para la venta al por menor e influye en la calidad sensorial del producto final (Traore *et al.*, 2012).

La mayor parte del agua en el músculo se mantiene dentro de las miofibrillas (aprox. 80%), en los espacios entre los filamentos gruesos y delgados (Cuadro 2.9.3) (Tornberg, 2005). No se conocen con exactitud las fuerzas que retienen al agua dentro del tejido muscular (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001; Ranken, 2003); pero aproximadamente el 5% puede estar químicamente unida a las proteínas (a través de los grupos hidrofílicos: agua fuertemente ligada). Una cantidad considerable de agua se inmoviliza debido a la configuración física de las proteínas (agua débilmente ligada). El agua que puede expelerse del músculo cuando se aplica una fuerza externa es el agua libre (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

Cuadro 2.9.3 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN CARNE MAGRA (%)

	FIBRAS O CÉLULAS			TOTAL
	FIBRILLAS	SARCOPLASMA	ESPACIO EXTRACELULAR Y TEJIDOS CONECTIVOS	
AGUA	45	19	11	75
PROTEÍNAS	10	6	2	18
OTRAS SUSTANCIAS	5	--	2	7
TOTALES	60	25	15	100

Tomado de Ranken (2003).

Cualquier gran cambio en la distribución del agua dentro de la estructura de la carne, por necesidad, se origina de cambios en este espacio. La contracción lateral de la red de filamentos es provocada por una caída de pH más cerca del punto isoeléctrico, la contracción por el rigor y la desnaturalización de la miosina. Sólo habrá cambios en la distribución del agua, si las miofibrillas cambian en volumen. El hecho de que los haces de fibras se contraigan cuando sus miofibrillas constituyentes lo hacen, da lugar así a los dos compartimentos extracelulares alrededor de las fibras y haces de fibras (Tornberg, 2005). El pH en el cual la CRA está en su mínimo valor (pH= 5.5) corresponde al punto isoeléctrico de la actomiosina, que constituye el mayor porcentaje de las proteínas estructurales del músculo. Según avanza la rigidez cadavérica, se induce una degradación del ATP en el músculo y se produce un mayor entrecruzamiento entre la actina y la miosina, lo que da como resultado una disminución considerable de la CRA durante las primeras horas *post-mortem*. Este fenómeno hace que la CRA del músculo *pre-rigor* sea mucho mayor que en el músculo *post-rigor* (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

Los mecanismos de control de calidad de la carne desarrollados a menudo se asocian con el metabolismo del músculo *post-mortem* alterado, es decir, la velocidad y la magnitud de la disminución del pH. Generalmente se acepta que la temperatura muscular *post-mortem* y el pH son factores clave relacionados con la pérdida por goteo (Traore *et al.*, 2012).

La inadecuada CRA es un problema importante en la calidad de la carne, que puede conducir a carne seca, oscura y firme (DFD) con una mayor capacidad de fijación de agua o carne pálida, suave y exudativa (PSE) con pobre CRA. La carne PSE puede ser el resultado de la genética, el estrés al sacrificio y la velocidad y el grado de disminución del pH *post-mortem* (Paredi *et al.*, 2013). Una combinación de alta temperatura y de bajo pH en el período *post-mortem* temprano se sabe que conducen a una marcada desnaturalización de las proteínas, lo que resulta en carne suave, pálida y exudativa, (PSE). En consecuencia, el pH a los 45min podría ser utilizado para clasificar las canales para su uso posterior. Por otra parte, el pH a las 24h ha sido sugerido como un predictor potencial de pérdida por goteo en las canales, especialmente cuando la variación en pérdida por goteo es alta. Esta variación puede ser debida al estrés pre-matanza y, a la vez, se encuentra influenciada por efectos genéticos. La carne PSE se somete a desnaturalización de las proteínas lo que conduce a un producto final de mala calidad (Traore *et al.*, 2012).

Por otra parte, la desnaturalización severa afecta a la capacidad de las proteínas para ligar agua lo que resulta en una CRA pobre, lo que significa que, el agua se libera. Esta disminución en la CRA de la carne de cerdo podría explicarse por una mayor hidrofobicidad de la superficie. El aumento de la hidrofobicidad de la superficie sugiere que las proteínas de la carne fresca son más vulnerables a la desnaturalización a través de alteraciones en la estructura secundaria (α -hélice), terciaria y/o cuaternaria. En consecuencia, la solubilidad y extractibilidad de las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas se reducen. Joo, Kauffman, Kim & Park (1999) encontraron una correlación negativa entre la solubilidad proteica y la pérdida por goteo. Lonergan, Huff-Lonergan, Rowe, Kuhlert & Jüngst (2001) reportaron una correlación positiva entre la pérdida por goteo y el tiempo en almacenamiento, lo que sugiere que los procesos de oxidación que ocurren en las fracciones de lípidos y proteínas durante el almacenamiento pueden alterar la CRA (Traore *et al.*, 2012).

La oxidación proteica es una modificación covalente de una proteína inducida ya sea directamente por especies reactivas del oxígeno o indirectamente por la reacción con productos secundarios del estrés oxidativo. Diferentes grupos de aminoácidos son sensibles a la oxidación, los aminoácidos básicos (lisina, histidina, arginina) se oxidan en carbonilos, que luego pueden reaccionar con grupos amino

libres para formar enlaces amida. Los grupos tiol de cisteína pueden ser oxidados con la formación de puentes disulfuro. La tirosina puede resultar en puentes di-tirosina. Es bien sabido que la oxidación de las proteínas de la carne se incrementa con el tiempo de almacenamiento. La oxidación proteica es responsable de muchas modificaciones biológicas, tales como la fragmentación de las proteínas y la agregación y una disminución de la solubilidad de las proteínas y la biodisponibilidad de aminoácidos, y se cree que tiene un impacto negativo en el color y la terneza de la carne y disminuir la capacidad de retención de agua (Traore *et al.*, 2012).

La disminución de la CRA deteriora la calidad de la carne, lo que conlleva a una disminución en la aceptación de los consumidores y en las ventas. En las cruzas comerciales, la selección genética y la mejora de las condiciones pre-matanza reducen en gran medida la incidencia de carne PSE que se traduce en una pobre CRA. Sin embargo, la variabilidad en la calidad tecnológica persiste, tales como la pérdida por goteo que sigue siendo inexplicable, particularmente la fracción de la pérdida por goteo que no está relacionada con los niveles de pH *post-mortem* (Traore *et al.*, 2012).

2.9.4.1 Medición de la capacidad de retención de agua.

La CRA se define como la capacidad que tiene la carne para retener el agua libre durante la aplicación de fuerzas externas, tales como el corte, la trituración y el prensado. Muchas de las propiedades físicas de la carne como el color, la textura y la firmeza de la carne cruda, así como la jugosidad y la suavidad de la carne procesada, dependen en parte de la CRA. La CRA es particularmente importante en productos picados o molidos, en los cuales se ha perdido la integridad de la fibra muscular y, por lo tanto, no existe una retención física del agua libre. Las pérdidas de peso y palatabilidad son también un efecto de la disminución de la CRA. En los productos procesados es importante tener una proporción adecuada de proteínas/agua, tanto para fines de aceptación organoléptica como para obtener un rendimiento suficiente en el peso del producto terminado. Otros factores que afectan a la CRA son la cantidad de grasa, el pH y el tiempo que ha transcurrido desde el deshuesado (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

La determinación de la pérdida de líquidos es importante en todos los puntos de la cadena de valor (Hui *et al.*, 2012). Primera, la pérdida de agua es de importancia económica porque desde este punto de vista es equivalente a la pérdida de carne (Fennema, 2000): idealmente, el líquido no debe ser liberado de la carne hasta que se come, pero en realidad, los fluidos se pierden progresivamente desde el momento de la matanza. El patrón de pérdida desde la matanza hasta el consumo depende de la especie, la predisposición genética a la glucólisis rápida, el pH final de la carne, las variables del procesamiento, el empaquetado y, el tiempo (Hui *et al.*, 2012). Segunda, el agua que se pierde durante el almacenamiento de la carne fresca o la cocinada (conocida como “purga”) es poco atractiva para el consumidor cuando se acumula en el envase. Tercera, los nutrientes solubles se pierden en el fluido exudado si éste no se recoge y consume con el producto final. Los aminoácidos y las vitaminas, especialmente las del complejo B, son las más afectadas. Cuarta, la retención de agua es importante para la textura de la carne. El contenido elevado de agua en el músculo reduce su fuerza mecánica, cuando los otros factores permanecen sin modificar (Fennema, 2000)

La CRA se refiere a la pérdida de fluido en el que se aplica una fuerza más allá de la gravedad a la muestra para extraer los líquidos. (La palabra "agua" no es un descriptor preciso pero es de uso común). Kauffman *et al.* (1980), compararon una serie de métodos (Hui *et al.*, 2012):

- a) Por goteo: Las pérdidas por goteo se miden mediante el registro de la pérdida de peso de una muestra de carne suspendida (80-100 gramos), durante un período de suspensión, por lo general 24 horas, a una temperatura de refrigeración controlada (Hui *et al.*, 2012).
- b) Prensado: Se ha de observar especialmente el método de la prensa de Grau-Hamm, utilizado comúnmente en trabajo experimental en Alemania. Un peso estándar de muestra sobre un papel de filtro se presiona entre dos placas y se anota el área del papel humedecido por el líquido exudado procedente de la muestra (Ranken, 2003; Hui *et al.*, 2012).
- c) Centrifugación. La proporción de líquido extraído de la carne depende de las condiciones en las que se realice la extracción; por medio de la centrifugación a velocidades altas es posible conseguir resultados constantes (Ranken, 2003).
- d) Purga. Es otra medida de la pérdida de fluidos, y es un término aplicado a la pérdida de líquidos cuando la carne es envasada al vacío. La pérdida por cocción, a veces también conocida como purga, se realiza como su nombre lo indica (Hui *et al.*, 2012).

2.9.5 Capacidad de emulsificación.

Una investigación del mercado italiano hecha por De Carlo (1998), arrojó resultados interesantes sobre los hábitos de consumo de carne de conejo: los consumidores se sienten atraídos por la carne de conejo de acuerdo con estos criterios establecidos en orden decreciente: calidad *sensu lato*, apariencia, peso de la canal y la relación calidad-precio. Sin embargo, estos criterios sólo se refieren al consumidor tradicional (76% de los entrevistados). El 24% restante no comen carne de conejo por estas razones principales: al 60% no le gusta y la principal razón de la negativa es su particular sabor "salvaje", el 11% no lo hacen porque no saben de ella y el 7% dice que es más difícil y toma más tiempo para preparar y cocinar. Con el fin de estimular la compra de carne de conejo por los no consumidores, se deben hacer esfuerzos a nivel informativo y educacional, y por el aumento de la capacidad de utilidad (hoy bastante ausente) y capacidad de conservación de la carne de conejo. Así, para satisfacer tanto a los consumidores tradicionales y a los consumidores "modernos" de conejo, la oferta debe ser diversificada asegurando siempre la disponibilidad del producto tradicional (toda la canal y cortes) y también la presentación de raciones, listas para cocinar y productos procesados como carne para hamburguesas o salchichas (Dalle-Zotte, 2002).

Los productos cárnicos emulsionados cocidos o salchichas son consumidos ampliamente en todo el mundo. Cientos de diferentes productos están disponibles para los consumidores (Sorapukdee *et al.*, 2013). Las salchichas son una de las formas más antiguas conocidas de los alimentos procesados y han sido muy apreciadas a través de varias etapas de la historia. La palabra salchicha se deriva de la palabra latina *salsus* que significa conservado, o literalmente, salado. Las pastas finamente trituradas de las que están hechas las salchichas se refieren a menudo como emulsiones de carne. Sin embargo, por definición estricta, no son emulsiones verdaderas. Una definición adecuada es la siguiente: "una

emulsión de carne es una dispersión de partículas finamente trituradas de carne magra y grasa en un sistema de dos fases que consiste en una fase dispersa (gotitas de grasa) y una compleja fase continua compuesta por agua, proteínas solubilizadas, componentes celulares, y especias y condimentos diversos " (Romans *et al.*, 2001).

Los productos cárnicos como las emulsiones pueden contener hasta un 37% de grasa (por ejemplo, salami curado de cerdo). El alto contenido de grasa de estos productos resulta en un obstáculo para el consumo por parte de personas que son propensas a las enfermedades cardiovasculares y/o sufren de sobrepeso. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomendó en una llamada urgente en 2003 reducir la ingesta de grasas en la dieta humana. Además de la cantidad total de grasa consumida, la composición cualitativa de grasas en la dieta ha demostrado que desempeña un papel significativo en el nivel de riesgo de los consumidores a enfermarse debido a problemas crónicos relacionados con la dieta. Para promover la salud cardiovascular, las dietas deben proporcionar ingestas extremadamente bajas (por ejemplo 1%) de ácidos *trans* (grasas hidrogenadas). Esta recomendación no sólo es importante para los países desarrollados en el mundo occidental, sino también en los países en desarrollo como en África o América del Sur, donde el bajo costo de las grasas hidrogenadas hace que sean más fácilmente disponibles que las grasas no saturadas y por lo tanto más frecuentemente consumidas. La OMS recomienda, además, que las dietas diarias deben proporcionar suficiente ingesta de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) (por ejemplo, 6-10% de la ingesta energética diaria). Idealmente, debe haber un equilibrio óptimo entre la ingesta de PUFAs ω -6 (5-8% de la ingesta energética diaria) y PUFAs ω -3 (1-2% de la ingesta energética diaria) (Weiss *et al.*, 2010).

Mc Clements (2005), define una emulsión como un sistema formado por dos líquidos inmiscibles (normalmente aceite y agua) en donde uno se dispersa (fase dispersa) en forma de pequeñas partículas esféricas dentro del otro (fase continua). El diámetro medio de las partículas en la mayoría de las emulsiones de alimentos es de entre 0.1 y 100 μ m. Schramm (2005) informa que las gotitas de grasa de la leche por lo general tienen un diámetro medio mayor que 0.2 μ m e incluso pueden ser superiores a 50 μ m. En general, hay dos tipos de emulsiones, dependiendo de la composición de la fase continua y dispersa: emulsiones de aceite-en-agua (Oil-in-Water, O/W) en donde los glóbulos de aceite están dispersos en agua; y, emulsiones agua-en-aceite (Water-in-Oil, W/O) si las gotas de agua se dispersan en aceite. Ejemplos de emulsiones O/W son la leche, crema, aderezos para ensaladas, mayonesa, sopas y salsas. La mantequilla y la margarina son emulsiones W/O (Hui *et al.*, 2012).

Una verdadera emulsión, tal como la mayonesa, es una mezcla heterogénea de dos líquidos inmiscibles (grasa y agua) estabilizados por un agente emulsionante tal como la fracción de la proteína albúmina. El resultado es una suspensión coloidal estable de los dos líquidos que no separan fácilmente debido a que el agente emulsionante actúa como una barrera física entre las dos fases, pero es miscible con ambos. Este fenómeno se produce porque el agente emulsionante (la proteína) se someterá a un cambio conformacional en su estructura hacia un punto de máxima estabilidad con el entorno inmediato. La proteína se desdobra, orientando las porciones hidrofóbicas de las moléculas proteicas hacia la fase lipídica (grasa) y las porciones hidrófilicas de las proteínas hacia la fase continua. Este es el mecanismo de formación de membranas alrededor de las gotitas de lípidos (Romans *et al.*, 2001).

Las emulsiones cárnicas constituyen un sistema de dos fases, aunque no son un sistema de emulsión propiamente dicho debido a que el diámetro de las gotas o glóbulos de grasa en una verdadera

emulsión es de entre 0.1 y 100 micras; el diámetro de los glóbulos de grasa de la fase dispersa en una emulsión de carne es mayor que 100 micras; por lo tanto, las emulsiones de carne como las salchichas finamente picadas o el paté no se consideran como emulsiones verdaderas, pero si pastas (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001; Hui *et al.*, 2012).

El sistema de una emulsión de carne es muy complejo, ya que la matriz de la emulsión (fase continua) está fundamentalmente compuesta de agua y proteínas solubilizadas por efecto de la adición de sal, formando una solución salina de baja fuerza iónica que extrae fácilmente a las proteínas miofibrilares - que a la vez sirven como emulsificantes- y a las proteínas sarcoplásmicas. En la fase continua también están presentes sales y otros compuestos responsables del sabor, la extensión del producto y la cohesión. La fase dispersa está constituida por la grasa. Algunos factores que también influyen en la CE son el pH, la temperatura y la cantidad de grasa presente (Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez, 2001).

Walstra (1996), señaló que las proteínas varían en su eficiencia emulsificante, principalmente debido a su masa molecular. Las proteínas de bajo peso molecular deberían ser emulsionantes más eficientes, no obstante, la utilización de estas proteínas no es siempre una buena elección ya que los péptidos muy pequeños pueden conducir a una rápida coalescencia. Como regla general, las proteínas altamente solubles facilitan la formación de la emulsión (o la formación de glóbulos) casi en la misma medida si la concentración es demasiado baja. Otra variable importante es la carga de la superficie de la proteína. Si la proteína está altamente cargada, más concentración será necesaria para obtener una emulsión estable. La carga de la superficie de las proteínas depende también de cómo es preparada la emulsión (Hui *et al.*, 2012).

Para que una proteína sea un buen emulsionante de grasa y agua, debe poseer propiedades tanto hidrófobas e hidrófilas. De las proteínas de la carne, la miosina demuestra las mejores propiedades emulsionantes y es abundante, ya que comprende aproximadamente el 45% de las proteínas miofibrilares del músculo esquelético (Romans *et al.*, 2001; Álvarez *et al.*, 2007). La miosina puede cerrar la interfaz aceite-agua, como los residuos de aminoácidos no polares de la cola de la miosina serían atraídos a la superficie de las células de grasa, mientras que los residuos de aminoácidos polares de la cabeza de la miosina estarían asociados con la fase acuosa (Álvarez *et al.*, 2007; Sorapukdee *et al.*, 2013). La proteína colágeno tiene poca o ninguna propiedad emulsionante debido a su singular estructura de triple hélice, lo que la vuelve muy estable y no fácilmente soluble. Por esta razón, las emulsiones de carne que contienen un alto porcentaje de colágeno son muy inestables porque puede producirse fácilmente la separación de fases (Romans *et al.*, 2001).

Además de las proteínas de la carne, la grasa es también un componente esencial de los productos cárnicos formulados, contribuyendo a la suavidad, jugosidad y palatabilidad general (Youssef & Barbut, 2009; Sorapukdee *et al.*, 2013). En general, una matriz de proteína con alta estabilidad de las grasas y capacidad de retención de agua es deseable en el procesamiento. Una falla para formar el gel puede producir una pérdida excesiva de agua y grasa, produciendo una textura blanda y harinosa (Sorapukdee *et al.*, 2013).

2.9.5.1 Procesamiento de las emulsiones cárnicas.

El molido de carne magra, grasa, sal y otros ingredientes para formar una pasta de carne resulta en la formación de un sistema multifásico. En este sistema (representado por productos tales como las salchichas y mortadela, que por lo general contienen 20-30% de grasa finamente triturada), las proteínas están presentes en tres fases diferentes: la matriz proteica, la fase acuosa y la película de proteína interfase (IPF) alrededor de los glóbulos de grasa. Los tipos y cantidades de proteínas presentes en cada una de estas fases afectan las propiedades de estabilidad y de textura del producto cocido. Las proteínas solubles son importantes en la emulsificación de la grasa, en la unión de la grasa a la matriz durante la cocción y en la contribución a la textura del producto terminado. La conformación de las proteínas en un sistema determina el número y tipo de residuos que están expuestos al medio ambiente y más tarde participarán en interacciones moleculares. Estructuras específicas como enlaces disulfuro, enlaces de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas o electrostáticas afectan los atributos funcionales de proteínas como la emulsificación, la gelificación y el agua vinculante (Gordon & Barbut, 1997).

La operación de conversión de dos fases inmiscibles en una emulsión, o la reducción del tamaño medio del glóbulo de aceite en una emulsión previamente formada se llama homogeneización. La resistencia del glóbulo a la deformación y la ruptura es debida a la presión de Laplace, la cual aumenta cuando el diámetro medio del glóbulo disminuye. Como resultado, una cantidad considerable de energía es necesaria para la formación de la emulsión. Esta energía es suministrada por agitación vigorosa, generada por una fuerza de cizallamiento suficientemente intensa en la fase continua de alta viscosidad; este es a menudo el caso en la preparación de emulsiones W/O. Como resultado, el diámetro de las gotitas se reduce a unos pocos micrómetros. En una emulsión O/W, la viscosidad de la fase continua tiende a estar por debajo; por lo tanto, para alterar los glóbulos de aceite la fuerza generada por fluctuaciones de presión debe ser rápida e intensa (Hui *et al.*, 2012).

Tecnológicamente, las emulsiones dependen principalmente del estado de las proteínas de la carne y sus propiedades de unión al agua y emulsionantes. Hay una serie de factores que regulan la calidad de las salchichas, por ejemplo, la especie de la cual proviene la carne (bovino, cerdo o pollo), la condición básica de la carne en el momento de uso, la fuente de la grasa, el tamaño de partícula grasa, los aditivos no cárnicos, el pH de las emulsiones, la temperatura y el tiempo de la emulsificación, el método de cocción, etcétera (Sorapukdee *et al.*, 2013).

La parte del picado es uno de los pasos más importantes en la fabricación de emulsiones cárnicas. Durante este proceso, las materias primas se trituran intensamente con el fin de reducir el tamaño de las partículas y obtener una emulsión estable y homogénea. Por lo tanto, así como la partícula de grasa disminuye de tamaño durante el cortado, la estabilidad de la emulsión se incrementará, siempre y cuando haya suficiente proteína para cubrir todas las partículas de grasa. Mientras el corte continúe, el incremento de la temperatura de la emulsión hace que la tensión superficial de las partículas de grasa disminuya. Esta disminución en la tensión superficial mejora aún más el proceso de reducción de las partículas y rápidamente aumenta el área superficial de las partículas de grasa, y, en consecuencia, se requiere más proteína para rodear los glóbulos de grasa. En la última etapa del proceso de cocción, cuando la temperatura alcanza 70-75°C, la grasa tiende a fundir y expandirse, el colágeno se transforma en una gelatina y las proteínas miofibrilares coagulan, lo que causa una reducción significativa en la capacidad de retención de agua de las proteínas. La sal soluble en la

desnaturalización proteica después de la cocción convierte a la emulsión en una matriz de gel viscoelástica (Álvarez *et al.*, 2007).

2.9.5.2 Factores asociados a la obtención de emulsiones cárnicas estables.

Según Foegeding, Lanier & Hultin (2000), la mejora de revestimiento de grasa de los productos triturados, por lo general requiere de la adición de fécula y proteínas no cárnicas para mejorar las propiedades de textura de los productos. La fécula gelatiniza durante la cocción, aumentando la viscosidad de la emulsión y reduciendo la movilidad de los glóbulos grasos. El aumento de la proporción de tejido magro permitiría que más proteínas miofibrilares sean extraídas para servir como emulsionantes. La obtención y optimización de una emulsión de carne estable depende de muchos factores y requiere, (a) la reducción del tamaño de las partículas de grasa y carne, (b) la extracción y dispersión de las proteínas miofibrilares de las estructuras celulares y, (c) mantener el grado de desnaturalización de las proteínas miofibrilares a un mínimo durante el cortado para asegurar un óptimo recubrimiento de los glóbulos de grasa con proteínas antes de cocinarlos. Estos tres requisitos principales para una estabilidad de emulsión óptima dependen directamente del proceso de triturado e impactan en el rendimiento del producto final y en su calidad. Para brindar esta estabilidad a la emulsión, el producto cárnico requerirá también una gelificación adecuada de las proteínas miofibrilares durante la cocción. Si la emulsión de carne es inestable, grandes cantidades de grasa y la separación de agua se producirán durante la cocción. En efecto, la obtención de una emulsión estable requiere un mejor control del proceso de emulsificación como resultado de la falta de señales de una ruptura en la emulsión durante el troceado (Álvarez *et al.*, 2007).

La retención de agua es, por lo tanto, una característica fundamental que debe ser estimulada en la carne destinada a la producción de emulsiones. La cantidad de agua unida depende, en gran medida, de la disposición espacial de las fibras de actina y miosina, lo que a su vez se debe al pH. A pH por encima y por debajo del punto isoeléctrico y el aumento en la retención de agua se produce, lo que resulta en una mayor retención de agua. La adición de solución de cloruro sódico modifica la carga eléctrica muscular, aumentando la retención de agua. Las cargas positivas del sodio se unen débilmente a las cargas negativas de las proteínas; mientras que los iones cloruro negativos se unen fuertemente a las cargas positivas de las proteínas. El resultado neto es un cambio en el punto isoeléctrico, y más moléculas de agua para interactuar con las proteínas (Hui *et al.*, 2012).

La capacidad de una emulsión para resistir los cambios en sus propiedades a lo largo del tiempo se conoce como estabilidad de la emulsión; mientras más estable la emulsión, más lentos los cambios que ocurren en sus propiedades. Una emulsión puede llegar a ser inestable debido a diferentes procesos físicos y químicos. La inestabilidad física se observa en la distribución espacial o la alteración de la organización de la estructura molecular; la inestabilidad química se produce en las moléculas que forman la emulsión. Los factores que favorecen la estabilidad de la emulsión son:

- a) Una baja tensión interfase, una energía libre interfase baja facilita el mantenimiento de una gran área interfase.
- b) Viscosidad de superficie alta y/o película interfase mecánicamente fuerte, la cual actúa como una barrera contra la coalescencia, la adsorción de sólidos pequeños mejora esta propiedad.

- c) Doble capa con carga eléctrica y/o repulsión estérica que impide la colisión y agregación y, por lo tanto, no se produce la coalescencia.
- d) Dispersión menor, la fuerza de atracción disminuye la agregación y la velocidad de coalescencia.
- e) Volumen pequeño de la fase dispersa, reduciendo la frecuencia de colisión y la agregación.
- f) Glóbulos de tamaño pequeño, en caso de que tengan interacciones electrostáticas o estéricas
- g) Pequeña diferencia de densidad entre las fases, reduciendo la velocidad de sedimentación y, por lo tanto, reduciendo las colisiones y la agregación.
- h) Alta viscosidad que reduce la velocidad de coalescencia (Hui *et al.*, 2012).

2.9.5.3 Medición de la capacidad de emulsificación.

Las características funcionales más importantes en los productos cárnicos picados, son las capacidades de formación de gel de las proteínas miofibrilares. Durante la molienda, las proteínas miofibrilares solubles en sal se extraen, y cuando se calientan, crean una red densa de proteínas denominada gel. Algunas de las proteínas solubilizadas se emulsionarán con la grasa añadida mediante la formación de una película de proteínas interfase alrededor de los glóbulos de grasa, que están estabilizadas adicionalmente por el gel de proteína. Los glóbulos de grasa actúan como rellenos, reduciendo la porosidad e incrementando la estabilidad del gel. Las diferencias en las propiedades fisicoquímicas de los lípidos saturados e insaturados, es decir, las propiedades de emulsificación y el estado físico, afectarán a la distribución de la grasa y la influencia en la estabilidad del gel y por lo tanto la calidad del producto final (Einarsdóttir *et al.*, 2014).

La capacidad de emulsificación (CE) se define como la cantidad de grasa que puede emulsificarse en una pasta de carne; esta es una característica básica de las salchichas y de otros embutidos emulsificados (bologna, paté, etc.) (Guerrero-Legarreta & Arteaga-Martínez, 2001).

La información que está disponible en los sistemas de carne picada se ha derivado de la aplicación de una variedad de técnicas utilizadas para el estudio de estos sistemas. Las técnicas reológicas y microestructurales se han utilizado para estudiar la estructura formada inicialmente en la mezcla de carne y de los cambios que ocurren como resultado de la cocción. La importancia de las condiciones ambientales y de procesamiento también ha sido examinada usando técnicas como la calorimetría diferencial de barrido, la extracción de proteínas y la electroforesis en gel de poliacrilamida. Las técnicas espectrofotométricas se han aplicado al estudio de las interacciones específicas implicadas en la formación de la pasta, mientras que Gordon & Barbut (1999; 1992) han empleado la modificación química de la funcionalidad de las proteínas de la pasta cárnica para investigar los eventos moleculares que ocurren durante la formación de la pasta y durante la cocción. Las interacciones lípido-proteína, el papel de las grasas y la relación estabilidad/estructura/textura también se han estudiado utilizando varias de estas técnicas, como en los estudios hechos por Theno & Schmidt (1978); Asghar *et al.* (1985); Regenstein (1988); Koolmees *et al.* (1989); y, Gordon & Barbut (1989, 1990) (Gordon & Barbut, 1997).

Con el fin de comprender mejor los procesos complejos que ocurren durante la formación de la pasta y la estabilización, varios métodos fisicoquímicos se han utilizado para estudiar los sistemas de pasta cárnica. Se incluyen entre los métodos más antiguos y más utilizados por Swift *et al.* (1961), y Hegarty

et al. (1963), para caracterizar la funcionalidad de las proteínas de la carne, midiendo su “capacidad emulsionante” Este método fue refinado y se ha utilizado para dar una medida de la capacidad de unión de grasa y agua de las proteínas aisladas, mezclas de proteínas y diferentes tipos de carne. Aunque información útil sobre las pastas cárnicas ha sido derivada por este método, la naturaleza empírica de los datos requiere que sean usados con precaución, especialmente si se aplican en la producción comercial de salchichas. Esto es principalmente porque la fuerza de cizallamiento aplicada durante la prueba de relación grasa/proteína (que puede ser tan alta como 1000:1) es mucho mayor que la utilizada en la práctica real. Para que la prueba sea directamente aplicable en los sistemas comerciales, los valores de corte y la relación proteína/grasa más acordes con las prácticas estándar de la industria de la carne deben ser utilizadas (Gordon & Barbut, 1997).

En el método de Swift *et al.* (1961), aceite vegetal líquido se introduce progresivamente a una solución de proteínas extraídas con sal de la carne mezcladas de forma continua a alta velocidad. Cuando la emulsión aceite en agua (O/W) no puede contener más aceite, la emulsión colapsa a un estado agua-en-aceite con un marcado descenso en la viscosidad. La cantidad de aceite requerido para alcanzar este punto es la capacidad emulsionante (Hui *et al.*, 2012).

III. JUSTIFICACIÓN.

El conocimiento de las características tecnológicas de diferentes razas de conejos es de gran utilidad ya que la industria cárnica se verá favorecida al utilizar a esta especie que aporta múltiples beneficios a la salud humana además de hacerlo a un costo muy por debajo y en un tiempo considerablemente menor que otras especies animales.

IV. HIPÓTESIS.

No existe diferencia en el rendimiento de la canal y en las características fisicoquímicas de la carne de conejo entre las razas California, Nueva Zelanda y Chinchilla.

V. OBJETIVOS.

Los objetivos de este trabajo consisten en la evaluación de la influencia de la raza en las características bioquímicas, la calidad de la carne y las propiedades instrumentales de ésta en tres razas de conejos.

5.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la influencia de la raza y el género en las características fisicoquímicas de la carne de conejo así como cuantificar que no existen diferencias sobre el rendimiento y la calidad de la canal con el fin de proponer la de mejores atributos para la industria cárnica.

5.2 OBJETIVOS PARTICULARES.

- 5.2.1 Evaluar el Peso Vivo, el Peso Canal Caliente, el Peso Piel y Faneras, el Peso Vísceras Rojas, el Peso Vísceras Verdes, el Peso Espaldillas, el Peso Lomo, el Peso Piernas así como el Rendimiento de la Canal en conejos matados a los 70 días de edad de las razas Nueva Zelanda, California y Chinchilla, diferenciando por género,.
- 5.2.2 Evaluar la Terneza, el Color, el pH, la Capacidad de Retención de Agua y la Capacidad de Emulsificación en carne de conejo refrigerada por 24 horas de las razas Nueva Zelanda, California y Chinchilla, diferenciando por género.
- 5.2.3 Analizar y comparar los resultados para emitir recomendaciones sobre la de mejores atributos cárnicos.

VI. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

6.1 MATERIALES Y MÉTODOS.

El presente estudio se llevó a cabo en dos etapas:

6.1.1 ETAPA I. Se realizó en el Módulo de Cunicultura y en el Taller de Carnes de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM; donde se obtuvieron 114 canales y las muestras de carne.

- 6.1.1.1 En el Módulo de Cunicultura se hizo la selección y validación de los animales de cada raza específica: California (CAL), Nueva Zelanda (NZ) y Chinchilla (CH) mediante registros de los progenitores, las cruzas, las camadas resultantes y el fenotipo característico de cada raza. La edad biológica se comprobó con los registros de nacimiento de las camadas a utilizar y su seguimiento hasta el día de la matanza. Se realizó un examen de sexado para saber el género de los animales además de la comprobación durante el faenado.
- 6.1.1.2 Una vez alcanzada la edad a la matanza (70 días), los conejos fueron trasladados al Taller de Carnes de la Facultad, que se encuentra a pocos metros de distancia del módulo, por lo que el estrés al que pudieron someterse los animales fue mínimo.
- 6.1.1.3 Todos los animales se pesaron previo a la matanza (P1) utilizando una báscula digital (Torrey tipo PCL, con capacidad de 20 kg).
- 6.1.1.4 Los conejos fueron insensibilizados por dislocación cervical, según la técnica descrita por Martínez-Castillo (2004). La matanza se realizó por exsanguinación en la región cervical (NOM-033-ZOO-1995) dentro de los 30 segundos posteriores al aturdimiento.
- 6.1.1.5 Las canales fueron preparadas con una modificación de acuerdo con las normas de la World Rabbit Science Association (WRSA), mediante la remoción de la piel, la cola, las partes distales de las patas delanteras y traseras, los órganos urogenitales, el tracto digestivo así como el aparato respiratorio, manteniendo intactos los riñones y la grasa perirrenal por motivos de comercialización.
- 6.1.1.6 Las canales calientes fueron suspendidas en un área ventilada para su oreo por 30 minutos. Posteriormente, se procedió al despiezado para la obtención de lomo (músculo: *Longissimus dorsi*, *Ld*). Las piezas se refrigeraron a 4°C hasta transcurridas 24 horas, para su posterior análisis en el laboratorio.

En esta etapa, se registraron las siguientes mediciones:

PV: Peso Vivo.

PCC: Peso Canal Caliente.

PPF: Peso Piel y Faneras.

PVV: Peso Vísceras Verdes.

PVR: Peso Vísceras Rojas.

PE: Peso Espaldillas.

PL: Peso Lomo.

PP: Peso Piernas.

Rendimiento de la canal (RC).

El rendimiento de la canal (RC) es el porcentaje de peso de la canal en relación con el peso vivo y se calcula dividiendo el peso de la canal entre el peso del conejo en vivo que se multiplica por 100, según la fórmula (Buxadé, 1996):

$$RC = \text{Peso de la canal} / \text{Peso vivo} \times 100$$

6.1.2 ETAPA II. Ésta se llevó a cabo en el laboratorio del Área de Bioquímica de Macromoléculas de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, para lo cual se utilizaron 54 muestras de carne refrigerada por 24 horas (27 provenientes de hembras, 9 por cada raza estudiada asimismo, 27 de machos siendo 9 muestras de California, 9 de Nueva Zelanda y 9 de Chinchilla). Los estudios a que fueron sometidas las muestras se indican a continuación:

Análisis fisicoquímico de la carne.

6.1.2.1 Terneza. Se utilizó un equipo de medición de textura TAX.T2 (Texture Technologies, Corp., Nueva York, E.U.A.) acoplado al software Texture Expert v1.2 (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra), con el cual se efectuó el análisis de la fuerza de corte, a partir de secciones de músculo *Longissimus dorsi* de 1x1x1 cm, empleando una navaja Warner-Bratzler en un corte perpendicular a las fibras musculares. La medición respectiva se reporta como la fuerza máxima obtenida al corte en kilogramos kg/cm², determinándose por triplicado.

6.1.2.2 pH. Se determinó el pH del músculo *Longissimus dorsi* mediante un potenciómetro con cuchilla de penetración para cárnicos Hanna hi 99163 (electrodo FC232D, cuchilla FC099, rango de pH: -2.00 a 16.00; rango de temperatura: -5° a 105.0°C; Hanna Instruments), introduciendo la cuchilla de acero 3mm a la altura de la 5ta vértebra lumbar. Esta prueba se determinó por duplicado.

6.1.2.3 Color. Se utilizó un colorímetro Hunter Lab modelo D25-PC-2, (Chroma Meter CR-200, Tokio, Japón). Para esta prueba se colocó parte de la muestra del

músculo *Longissimus dorsi* dentro de un vaso de precipitados de forma que no quede ningún espacio ni burbujas en el fondo del vaso. Enseguida, se coloca el vaso con la muestra en el colorímetro de refracción.; el vaso se gira en 90°, de tal forma que se obtienen cuatro lecturas de la muestra de diferentes ángulos. El resultado final es la media calculada de todos los datos obtenidos. Los resultados se registran en un software el cual está programado con los valores del sistema estándar de color para luminosidad (“blanco al negro”) (L*); intensidad de color rojo (“Cromaticidad”) (a*) e intensidad de color amarillo (“Tonalidad”) (b*). De acuerdo a este sistema, L* mide blanco al negro (100-0); a* mide tonalidades de rojo hasta verde (+,-) y, b* mide tonalidades de amarillo hasta azul (+,-). Esta prueba se llevó a cabo por duplicado.

6.1.2.4 Capacidad de Retención de Agua (CRA). Para ello se procedió de acuerdo con el método reportado por Guerrero-Legarreta & Artega-Martínez (2001); en el cual se obtuvieron 10g de muestra proveniente del músculo *Longissimus dorsi* finamente picados, los cuales fueron colocados, por duplicado, en tubos de centrífuga, una vez que se hubo agregado previamente 16 ml de solución 0.6 M de NaCl. Los tubos se dejaron reposar durante media hora en un baño de hielo y posteriormente se centrifugaron en una centrífuga Beckman J2-M1 cuyo rotor tiene una capacidad para 8 tubos de ensaye. La velocidad de centrifugación empleada fue de 5000 rpm durante 30 minutos. El sobrenadante se decantó en una bureta para la medición del líquido, lo cual fue registrado como la cantidad de ml de agua retenidos por g de carne.

6.1.2.5 Capacidad de Emulsificación (CE). Ésta se determinó registrando el volumen máximo de aceite que es emulsificado antes de su inversión; para ello se procedió de la siguiente manera:

- a) Se molieron 12.5 g de carne procedente del músculo *Longissimus dorsi* con 50 ml de solución 1 M de NaCl en un licuadora (Osterizer® 400 watts, 1 velocidad) hasta obtener una pasta uniforme. La mezcla no debió superar una temperatura 5°C.
- b) Una vez obtenida la pasta, se tomaron 6.5 g y se añadieron 37.5 ml 1 M de NaCl a 5°C. Se homogeneizó mediante un bio-homogenizador M133/1281-0 (2 velocidades, 115V, 140 W, 60 Hz, 1.2 amps; Biospect Products Inc., Bartlesville, EUA) durante 5 minutos e inmediatamente con ayuda de una bureta se adicionó aceite vegetal a una velocidad de 1ml/seg.
- c) El aceite vegetal dejó de añadirse hasta que éste dejó de integrarse a la pasta de carne (esto se observó por la ruptura de la emulsión). Se registró la cantidad de aceite incorporado (antes de la ruptura de la emulsión) por g de carne.
- d) Esta determinación se llevó a cabo por triplicado.

6.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.

Los animales utilizados en este trabajo de investigación contaban con una edad de 70 días y fueron distribuidos de acuerdo con su raza y género en las etapas y tratamientos que se muestran en el cuadro 6.1

Cuadro 6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

GRUPO	RAZA	GÉNERO	TAMAÑO DE LA MUESTRA (n)	
			E1	E2
G1	CAL	1	19	9
		2	19	9
G2	NZ	1	19	9
		2	19	9
G3	CH	1	19	9
		2	19	9

G: Grupo; CAL: California; NZ: Nueva Zelanda; CH: Chinchilla.
GÉNERO 1: Hembra; 2: Macho. E: Etapa.

$\Sigma =$ 114 54

6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Las variables se analizaron bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + u_i + \hat{l}_{ij}$$

$$i = 1, 2 \text{ Tratamientos} \quad j = 1, 2, 3, \dots \text{Repeticiones}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta

μ = Media general

u_i = Efecto del tratamiento (Raza, género).

\hat{l}_{ij} = Error aleatorio

Los resultados del estudio fueron analizados mediante la Prueba de Modelos Lineales Generalizados (GLM) obteniendo las medias de mínimos cuadrados, prueba de Tukey y análisis de varianza mediante el paquete de análisis estadístico SAS® (Statistical Analysis System, 2010), en un modelo que considera la raza, el género y la interacción entre estas variables.

VII. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

En el cuadro 7.1 se muestran los resultados del análisis de varianza, donde se observa que existe diferencia significativa por el efecto de la raza para los indicadores Peso Vivo ($p < 0.02$); Peso Canal Caliente ($p < 0.02$); Peso Vísceras Verdes ($p < 0.05$); Peso Vísceras Rojas ($p < 0.009$); Peso Piel y Faneras ($p < 0.02$); y, Peso Piernas ($p < 0.01$). No existe diferencia para las variables Rendimiento de Canal, Peso Espaldillas y Peso Lomo.

En cuanto al efecto género hubo diferencia significativa para la variable Peso Vísceras Verdes ($p < 0.038$) pero no se encontraron diferencias en el resto de los parámetros. Asimismo, no se reportaron diferencias por el efecto de la interacción Raza*Género en ninguna de las variables investigadas.

El cuadro 7.2 muestra los resultados del efecto de la raza sobre el rendimiento de la canal y variables relacionadas con el peso a la matanza. Se observan diferencias significativas en los parámetros Peso Vivo entre la raza Chinchilla (CH) vs raza California (CAL) ($p < 0.009$) y Nueva Zelanda (NZ) ($p < 0.023$), obteniendo la primera raza animales con el menor peso a la matanza (1.939 ± 0.055 kg) vs la CAL y NZ que presentan animales de más de 2 kg (2.141 ± 0.052 y 2.092 ± 0.037 kg). Esto se ve reflejado en el Peso Canal Caliente de CH vs California ($p < 0.016$) y NZ ($p < 0.009$), obteniendo canales con diferencias de hasta 200 g de peso; pese a ello, no existe diferencia entre los grupos para la variable Rendimiento de Canal.

Los resultados demuestran que existe diferencia estadística entre la raza CAL vs NZ ($p < 0.022$) pero no para CH ($p < 0.20$, $p < 0.44$, respectivamente) para la variable Peso Vísceras Verdes. En el caso del Peso Vísceras Rojas la diferencia se presenta en las razas NZ vs CH ($p < 0.002$). El Peso de Piel y Faneras muestra diferencia en la raza CH vs NZ ($p < 0.05$) y CAL ($p < 0.006$).

En cuanto a los pesos del despiece de la canal, la variable Peso Piernas muestra diferencia entre las razas NZ vs CH ($p < 0.003$), donde la primera tiene piernas más pesadas (de más de 400 g) y la CH obtuvo un promedio de 350.13 ± 13.10 g. El peso Lomo fue significativamente menor en el grupo CH y CAL vs NZ ($p < 0.03$), teniendo esta última lomos de 335.64 ± 14.24 g. La variable Peso Espaldillas que no presenta diferencia alguna entre las razas estudiadas.

CUADRO 7.1 ANÁLISIS DE VARIANZA DE PÁRAMETROS DE RENDIMIENTO DE LA CANAL EN TRES RAZAS DE CONEJOS (CALIFORNIA, NUEVA ZELANDA Y CHINCHILLA)

VARIABLE DE RESPUESTA	MODELO			ERROR		P>		
	R ²	CV	\bar{x}	gl	P>	RAZA (R)	GÉNERO (G)	R * G
PV	0.095	13.111	2.068	110	0.0579*	0.023*	0.3607	0.9901
PCC	0.094	15.452	1.191	109	0.0637*	0.0202*	0.4283	0.9828
RC	0.038	5.281	57.41	109	0.5252	0.1333	0.9210	0.9546
PVV	0.097	11.735	369.412	110	0.0541*	0.0717	0.0383*	0.8664
PVR	0.095	15.870	23.068	110	0.0571*	0.0095*	0.6151	0.4564
PPF	0.080	14.705	373.647	110	0.0111*	0.0226*	0.8356	0.9600
PE	0.084	21.738	333.517	54	0.4833	0.2879	0.2172	0.7953
PL	0.115	19.219	314.35	53	0.2974	0.1154	0.3850	0.6091
PP	0.207	14.576	381.312	53	0.0419*	0.0108*	0.3171	0.4513

PV: Peso Vivo (kg); PCC: Peso Canal Caliente (kg); RC: Rendimiento de Canal (%); PVV: Peso Visceras Verdes (g); PVR: Peso Visceras Rojas (g); PPF: Peso Piel y Faneras (g); PE: Peso Espaldillas (g); PL: Peso Lomo (g); PP: Peso Piernas (g).

CV: Coeficiente de Variación; gl: grados de libertad; R*G: Interacción Raza*Género.

CUADRO 7.2 COMPARACIÓN DEL EFECTO RAZA SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA CANAL Y VARIABLES RELACIONADAS: PRUEBA DE TUKEY

VARIABLE DE RESPUESTA	RAZA		
	CAL	NZ	CH
	n= 38	n= 38	n= 38
PV (kg)	2.141±0.052 ^a	2.092±0.037 ^a	1.939±0.055 ^b
PCC (kg)	1.226±0.036 ^a	1.218±0.025 ^a	1.099±0.037 ^b
RC (%)	56.93±0.59	57.98±0.41	56.64±0.61
PVV (g)	384.35±8.38	360.47±5.93	368.67±8.84
PVR (g)	22.98±0.70 ^{a,b}	24.03±0.50 ^a	21.23±0.74 ^b
PPF (g)	392.58±10.63 ^a	376.18±7.51 ^a	349.62±11.21 ^b
PE (g)	346.26±17.08	343.21±16.65	311.50±17.08
PL (g)	314.57±14.24	335.64±14.24	292.83±14.24
PP (g)	385.70±13.10 ^{a,b}	408.10±13.10 ^a	350.13±13.10 ^b

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una $p < 0.05$

PV: Peso Vivo; PCC: Peso Canal Caliente; RC: Rendimiento de Canal; PVV: Peso Vísceras Verdes; PVR: Peso Vísceras Rojas; PPF: Peso Piel y Faneras; PE: Peso Espaldillas; PL: Peso Lomo; PP: Peso Piernas.

CAL: California; NZ: Nueva Zelanda; CH: Chinchilla.

Los resultados que se observan en el cuadro 7.3 muestran que en cuanto al efecto género, los indicadores no presentaron diferencia estadística, a excepción del Peso Vísceras Verdes en machos vs hembras ($p < 0.038$), siendo las de las hembras más pesadas (380.65 ± 6.45 vs 361.68 ± 6.33 g). Asimismo, se puede ver que existe una tendencia en las hembras a tener espaldillas, lomo y piernas más pesadas que los machos, aunque esto no representó diferencia en el peso a la matanza ni en el rendimiento de la canal.

CUADRO 7.3 COMPARACIÓN DEL EFECTO GÉNERO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA CANAL Y VARIABLES RELACIONADAS: PRUEBA DE TUKEY

VARIABLE DE RESPUESTA	GÉNERO	
	MACHOS n= 57	HEMBRAS n= 57
PV (kg)	2.031±0.039	2.083±0.040
PCC (kg)	1.165±0.026	1.196±0.027
RC (%)	57.22±0.44	57.15±0.45
PVV (g)	361.68±6.33 ^a	380.65±6.45 ^b
PVR (g)	22.94±0.53	22.56±0.54
PPF (g)	371.60±8.02	373.98±8.17
PE (g)	321.43±13.71	345.89±13.95
PL (g)	307.14±11.62	321.55±11.62
PP (g)	373.66±10.69	388.95±10.69

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05
 PV: Peso Vivo; PCC: Peso Canal Caliente; RC: Rendimiento de Canal; PVV: Peso Vísceras Verdes; PVR: Peso Vísceras Rojas; PPF: Peso Piel y Faneras. PE: Peso Espaldillas; PL: Peso Lomo; PP: Peso Piernas.

El efecto de la interacción Raza*Género sobre el Rendimiento de la Canal y los pesos relacionados, no presenta diferencias significativas entre machos y hembras de las tres razas estudiadas tal como se observa en los cuadros 7.4, 7.5 y 7.6. Sin embargo, los resultados obtenidos para la raza CAL, muestran pesos mayores en las variables estudiadas para las hembras, siendo evidentes los obtenidos en el lomo (330.54±20.13 vs 298.60±20.13 g para los machos) así como en las piernas (406.88±18.52 vs 364.51±18.52 g para los machos) (Cuadro 7.4). Para la raza NZ, como muestra el cuadro 7.5, existe similitud en los valores obtenidos para ambos géneros. Lo mismo se puede observar para la raza CH, siendo muy semejantes los pesos y el rendimiento de las canales tanto para machos como hembras (Cuadro 7.6).

CUADRO 7.4 INTERACCIÓN RAZA (CALIFORNIA)*GÉNERO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA CANAL Y VARIABLES RELACIONADAS: PRUEBA DE TUKEY

CALIFORNIA		
VARIABLE DE RESPUESTA	MACHOS	HEMBRAS
	n= 19	n= 19
PV (kg)	2.120±0.081	2.162±0.065
PCC (kg)	1.207±0.055	1.245±0.046
RC (%)	56.83±0.91	57.02±0.75
PVV (g)	371.39±13.07	397.32±10.51
PVR (g)	22.56±1.10	23.41±0.88
PPF (g)	393.55±16.56	391.61±13.32
PE (g)	329.90±24.16	362.62±24.16
PL (g)	298.60±20.13	330.54±20.13
PP (g)	364.51±18.52	406.88±18.52

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05
 PV: Peso Vivo; PCC: Peso Canal Caliente; RC: Rendimiento de Canal; PVV: Peso Visceras Verdes; PVR: Peso Visceras Rojas; PPF: Peso Piel y Faneras; PE: Peso Espaldillas; PL: Peso Lomo; PP: Peso Piernas.

CUADRO 7.5 INTERACCIÓN RAZA (NUEVA ZELANDA)*GÉNERO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA CANAL Y VARIABLES RELACIONADAS: PRUEBA DE TUKEY

NUEVA ZELANDA		
VARIABLE DE RESPUESTA	MACHOS	HEMBRAS
	n= 19	n= 19
PV (kg)	2.066±0.057	2.117±0.046
PCC (kg)	1.206±0.039	1.229±0.031
RC (%)	58.01±0.64	57.96±0.52
PVV (g)	352.69±9.24	368.25±7.43
PVR (g)	24.69±0.78	23.37±0.62
PPF (g)	375.08±11.71	377.28±9.42
PE (g)	325.72±22.92	360.70±24.16
PL (g)	326.18±20.13	345.10±20.13
PP (g)	408.40±18.52	407.79±18.52

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05
 PV: Peso Vivo; PCC: Peso Canal Caliente; RC: Rendimiento de Canal; PVV: Peso Visceras Verdes; PVR: Peso Visceras Rojas; PPF: Peso Piel y Faneras; PE: Peso Espaldillas; PL: Peso Lomo; PP: Peso Piernas.

**CUADRO 7.6 INTERACCIÓN RAZA
(CHINCHILLA)*GÉNERO SOBRE EL RENDIMIENTO
DE LA CANAL Y VARIABLES RELACIONADAS:
PRUEBA DE TUKEY**

VARIABLE DE RESPUESTA	CHINCHILLA	
	MACHOS	HEMBRAS
	n= 19	n= 19
PV (kg)	1.907±0.063	1.970±0.090
PCC (kg)	1.083±0.043	1.114±0.061
RC (%)	56.81±0.71	56.48±1.01
PVV (g)	360.97±10.21	376.37±14.45
PVR (g)	21.57±0.86	20.89±1.22
PPF (g)	346.17±12.95	353.06±18.31
PE (g)	308.66±24.16	314.34±24.16
PL (g)	296.64±20.13	289.02±20.13
PP (g)	348.07±18.52	352.19±18.52

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05
PV: Peso Vivo; PCC: Peso Canal Caliente; RC: Rendimiento de Canal; PVV: Peso Vísceras Verdes; PVR: Peso Vísceras Rojas; PPF: Peso Piel y Faneras; PE: Peso Espaldillas; PL: Peso Lomo; PP: Peso Piernas.

Cuando se compara la interacción Raza*Género en los machos, tal como se muestra en el cuadro 7.7, diferencias significativas se encuentran en los indicadores de Peso Vivo para los conejos CH vs CAL (p<0.04) y una tendencia significativa en CH vs NZ (p<0.06). Los machos CH se encuentran por debajo de los 2 kg mientras que las otras dos razas son más pesadas, pese a ello, el Peso Canal Caliente es similar en los tres aunque el Rendimiento de la Canal tienen una tendencia a ser mayor para los NZ (58.01±0.64%) que en la CAL (56.83±0.91%) y CH (56.81±0.71%).

Asimismo, el Peso Vísceras Rojas presenta una diferencia estadística en NZ vs CH (p<0.008) así como el Peso Piel y Faneras de la raza CH vs CAL (p<0.026), teniendo esta variable mayor peso en la raza CAL (393.55±16.56 g). En el peso al despiece, se encuentra una diferencia en el Peso Piernas entre los NZ vs CH (p<0.025), siendo ésta de hasta casi 100 g (348.07±18.52 vs 408.40±18.52 g).

En cuanto a las hembras, se presentan diferencias estadísticas en el Peso Vísceras Verdes entre la raza CAL vs NZ (p<0.026); Peso Lomo en NZ vs CH (p<0.05) y el Peso Piernas de la raza CH vs CAL (p<0.04) y NZ (p<0.039), como se observa en la tabla 7.8. Cabe mencionar que los pesos obtenidos para las hembras en sus respectivos grupos, son superiores a los de los machos, haciéndose más notorio en los valores obtenidos en el despiece de la canal, como es el caso del Peso Lomo en CAL (330.54±20.13 g para las hembras vs 298.60±20.13 g en machos) y Peso Piernas en la misma raza (406.88±18.52 g en hembras vs 364.51±18.52 g para los machos).

**CUADRO 7.7 COMPARACIÓN DEL EFECTO INTERACCIÓN RAZA*GÉNERO
(MACHOS) SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA CANAL Y VARIABLES
RELACIONADAS: PRUEBA DE TUKEY**

VARIABLE DE RESPUESTA	MACHOS		
	CAL n= 19	NZ n= 19	CH n= 19
PV (kg)	2.120±0.081 ^a	2.066±0.057 ^{a,b}	1.907±0.063 ^b
PCC (kg)	1.207±0.055	1.206±0.039	1.083±0.043
RC (%)	56.83±0.91	58.01±0.64	56.81±0.71
PVV (g)	371.39±13.07	352.69±9.24	360.97±10.21
PVR (g)	22.56±1.10 ^{a,b}	24.69±0.78 ^a	21.57±0.86 ^b
PPF (g)	393.55±16.56 ^a	375.08±11.71 ^{a,b}	346.17±12.95 ^b
PE (g)	329.90±24.16	325.72±22.92	308.66±24.16
PL (g)	298.60±20.13	326.18±20.13	296.64±20.13
PP (g)	364.51±18.52 ^{a,b}	408.40±18.52 ^a	348.07±18.52 ^b

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05

PV: Peso Vivo; PCC: Peso Canal Caliente; RC: Rendimiento de Canal; PVV: Peso Visceras Verdes; PVR: Peso Visceras Rojas; PPF: Peso Piel y Faneras; PE: Peso Espaldillas; PL: Peso Lomo; PP: Peso Piernas.

CAL: California; NZ: Nueva Zelanda; CH: Chinchilla.

**CUADRO 7.8 COMPARACIÓN DEL EFECTO INTERACCIÓN RAZA*GÉNERO
(HEMBRAS) SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA CANAL Y VARIABLES
RELACIONADAS: PRUEBA DE TUKEY**

HEMBRAS

VARIABLE DE RESPUESTA	CAL n= 19	NZ n= 19	CH n= 19
PV (kg)	2.162±0.065	2.117±0.046	1.970±0.090
PCC (kg)	1.245±0.046	1.229±0.031	1.114±0.061
RC (%)	57.02±0.75	57.96±0.52	56.48±1.01
PVV (g)	397.32±10.51 ^a	368.25±7.43 ^b	376.37±14.45 ^{a,b}
PVR (g)	23.41±0.88	23.37±0.62	20.89±1.22
PPF (g)	391.61±13.32	377.28±9.42	353.06±18.31
PE (g)	362.62±24.16	360.70±24.16	314.34±24.16
PL (g)	330.54±20.13	345.10±20.13	299.02±20.13
PP (g)	406.88±18.52 ^a	407.79±18.52 ^a	352.19±18.52 ^b

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05

PV: Peso Vivo; PCC: Peso Canal Caliente; RC: Rendimiento de Canal; PVV: Peso Vísceras Verdes; PVR: Peso Vísceras Rojas; PPF: Peso Piel y Faneras; PE: Peso Espaldillas; PL: Peso Lomo; PP: Peso Piernas.

CAL: California; NZ: Nueva Zelanda; CH: Chinchilla.

CUADRO 7.9 ANÁLISIS DE VARIANZA DE PÁRAMETROS DE CALIDAD DE LA CARNE EN TRES RAZAS DE CONEJOS (CALIFORNIA, NUEVA ZELANDA Y CHINCHILLA)

VARIABLE DE RESPUESTA	MODELO			ERROR		P>		
	R ²	CV	\bar{x}	gl	P>	RAZA (R)	GÉNERO (G)	R * G
TERNEZA	0.1126	18.068	1819.691	161	0.0021*	0.0224*	0.0141*	0.0567*
pH	0.0572	2.008	5.934	107	0.2970	0.100	0.980	0.480
L*	0.039	4.9541	47.9426	53	0.8530	0.6326	0.9764	0.6020
a*	0.0251	4.9384	2.3963	53	0.9390	0.8086	0.9191	0.6723
b*	0.1293	6.6837	8.8103	53	0.2321	0.1336	0.5786	0.2798
CRA	0.1531	2.842	4.818	52	0.0153*	0.4089	0.0268*	0.4089
CE	0.0964	48.016	1.664	158	0.0078*	0.0006*	0.9961	0.6492

Terneza: Se reporta la fuerza máxima obtenida al corte en g/cm².

Color: L*: Luminosidad; a*: Cromaticidad; b*: Tonalidad.

CRA: Capacidad de Retención de Agua, se reporta como la cantidad de mililitros de agua retenidos por gramo de carne (mlH₂O/gcarne).

CE: Capacidad de Emulsificación, se reporta como la cantidad de aceite incorporado por gramo de carne (mlaceite/gcarne).

CV: Coeficiente de Variación; gl: grados de libertad; R*S: Interacción Raza*Género.

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza referentes a la calidad de la carne se presentan en el cuadro 7.9. Se puede observar diferencia significativa por el efecto raza para las variables de Terneza ($p < 0.02$) y Capacidad de Emulsificación ($p < 0.0006$) no así para el resto de los indicadores. En cuanto al efecto de género, solo se encontraron diferencias estadísticas para la Terneza ($p < 0.01$) y la Capacidad de Retención de Agua ($p < 0.026$). El efecto de la interacción Raza*Género sólo muestra diferencia significativa para la variable Terneza ($p < 0.056$).

Mediante la comparación múltiple de medias de Tukey sobre los parámetros de calidad de la carne de conejo, para el efecto raza, se encontraron diferencias en la Terneza entre la carne de la raza NZ que presentó la menor resistencia al corte ($1.717 \pm 0.04 \text{ kg/cm}^2$) vs la raza CAL ($p < 0.018$) ($1.868 \pm 0.04 \text{ kg/cm}^2$) y la raza CH ($p < 0.015$) ($1.873 \pm 0.04 \text{ kg/cm}^2$); así como en la Capacidad de Emulsificación con diferencia estadística para CAL ($p < 0.0006$) y NZ ($p < 0.001$) con una menor cantidad de aceite incorporado antes de la inversión de la emulsión (1.46 ± 0.11 y 1.50 ± 0.10 mlaceite/gcarne, respectivamente) vs CH (2.01 ± 0.10 mlaceite/gcarne). En cuanto a los indicadores de pH, color y de Capacidad de Retención de Agua no existen diferencias significativas (Cuadro 7.10).

CUADRO 7.10 COMPARACIÓN DEL EFECTO RAZA SOBRE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO: PRUEBA DE TUKEY

VARIABLE DE RESPUESTA	RAZA		
	CAL	NZ	CH
	n= 54	n= 54	n= 54
TERNEZA	$1.868 \pm 0.04^{a,c}$	1.717 ± 0.04^b	1.873 ± 0.04^c
pH	5.94 ± 0.01	5.93 ± 0.01	5.96 ± 0.01
L*	48.05 ± 0.55	48.25 ± 0.55	47.51 ± 0.55
a*	3.38 ± 1.94	1.63 ± 1.94	2.16 ± 1.94
b*	8.71 ± 0.13	9.04 ± 0.13	8.67 ± 0.13
CRA	4.82 ± 0.03	4.85 ± 0.03	4.78 ± 0.03
CE	1.46 ± 0.11^a	1.50 ± 0.10^a	2.01 ± 0.10^b

^{a,b,c} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una $p < 0.05$

Terneza: Se reporta la fuerza máxima obtenida al corte en kg/cm^2

Color: L*: Luminosidad; a*: Cromaticidad; b*: Tonalidad.

CRA: Capacidad de Retención de Agua, se reporta como la cantidad de mililitros de agua retenidos por gramo de carne ($\text{mlH}_2\text{O/gcarne}$).

CE: Capacidad de Emulsificación, se reporta como la cantidad de aceite incorporado por gramo de carne (mlaceite/gcarne).

CAL: California; NZ: Nueva Zelanda; CH: Chinchilla.

El cuadro 7.11 muestra el efecto del género sobre los parámetros de calidad de la carne donde se observan diferencias significativas para la Terneza en las hembras ($p < 0.01$) con una menor resistencia al corte comparada con la carne de los machos (1.755 ± 0.03 vs $1.883 \pm 0.03 \text{ kg/cm}^2$). Asimismo, la carne de las hembras cuenta con una mayor Capacidad de Retención de Agua ($p < 0.026$) en contraste con la de los machos (4.86 ± 0.02 vs $4.77 \pm 0.02 \text{ mlH}_2\text{O/gcarne}$). El resto de los indicadores de calidad no se encuentran afectados por el efecto género.

CUADRO 7.11 COMPARACIÓN DEL EFECTO GÉNERO SOBRE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO: PRUEBA DE TUKEY

VARIABLE DE RESPUESTA	GÉNERO	
	MACHOS n= 81	HEMBRAS n= 81
TERNEZA	1.883±0.03 ^a	1.755±0.03 ^b
pH	5.93±0.01	5.93±0.01
L*	47.93±0.45	47.95±0.45
a*	2.28±1.59	2.55±1.59
b*	8.76±0.11	8.85±0.11
CRA	4.77±0.02 ^a	4.86±0.02 ^b
CE	1.65±0.09	1.66±0.08

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05

Terneza: Se reporta la fuerza máxima obtenida al corte en kg/cm²

Color: L*: Luminosidad; a*: Cromaticidad; b*: Tonalidad.

CRA: Capacidad de Retención de Agua, se reporta como la cantidad de mililitros de agua retenidos por gramo de carne (mlH₂O/gcarne).

CE: Capacidad de Emulsificación, se reporta como la cantidad de aceite incorporado por gramo de carne (mlaceite/gcarne).

En cuanto a la interacción Raza*Género, la prueba de Tukey arrojó resultados con diferencias significativas para Terneza con una p<0.005 en machos vs hembras de la raza California, haciendo evidente que la carne de las hembras presenta una resistencia mucho menor al corte que la de los machos (1.741±0.06 vs 1.994±0.06 kg/cm²) (Cuadro 7.12). Lo mismo ocurre en la raza Nueva Zelanda con valores de p<0.05 para machos vs hembras (1.630±0.06 vs 1.804±0.06 kg/cm²); además, la CRA tiene diferencia estadística entre géneros de esta raza (p<0.03), con valores de 4.77±0.04 vs 4.92±0.04 mlH₂O retenidos por g de carne retenidos en machos versus hembras (Cuadro 7.13). El pH, color (L*, a* y b*) y CE no tienen influencia por la interacción Raza*Sexo en las razas investigadas.

No se encontró ninguna diferencia significativa debida a la interacción Raza*Género en los parámetros de calidad para la carne de la raza Chinchilla como se presenta en el cuadro 7.14, aunque cabe destacar que la CE en esta raza es muy superior si se compara con las otras dos razas investigadas.

CUADRO 7.12 INTERACCIÓN RAZA (CALIFORNIA)*GÉNERO SOBRE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO: PRUEBA DE TUKEY

VARIABLE DE RESPUESTA	CALIFORNIA	
	MACHOS	HEMBRAS
	n= 27	n= 27
TERNEZA	1.994±0.06 ^a	1.741±0.06 ^b
pH	5.91±0.02	5.89±0.02
L*	47.67±0.79	48.43±0.79
a*	4.64±2.75	2.13±2.75
b*	8.81±0.19	8.61±0.19
CRA	4.77±0.04	4.86±0.04
CE	1.45±0.16	1.48±0.15

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05

Terneza: Se reporta la fuerza máxima obtenida al corte en kg/cm²

Color: L*: Luminosidad; a*: Cromaticidad; b*: Tonalidad.

CRA: Capacidad de Retención de Agua, se reporta como la cantidad de mililitros de agua retenidos por gramo de carne (mlH₂O/gcarne).

CE: Capacidad de Emulsificación, se reporta como la cantidad de aceite incorporado por gramo de carne (mlaceite/gcarne).

CUADRO 7.13 INTERACCIÓN RAZA (NUEVA ZELANDA)*GÉNERO SOBRE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO: PRUEBA DE TUKEY

VARIABLE DE RESPUESTA	NUEVA ZELANDA	
	MACHOS	HEMBRAS
	n= 27	n= 27
TERNEZA	1.804±0.06 ^a	1.630±0.06 ^b
pH	5.94±0.02	5.92±0.02
L*	48.67±0.79	47.83±0.79
a*	1.16±2.75	2.10±2.75
b*	9.02±0.19	9.05±0.19
CRA	4.77±0.04 ^a	4.92±0.04 ^b
CE	1.44±0.15	1.56±0.15

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05

Terneza: Se reporta la fuerza máxima obtenida al corte en kg/cm²

Color: L*: Luminosidad; a*: Cromaticidad; b*: Tonalidad.

CRA: Capacidad de Retención de Agua, se reporta como la cantidad de mililitros de agua retenidos por gramo de carne (mlH₂O/gcarne).

CE: Capacidad de Emulsificación, se reporta como la cantidad de aceite incorporado por gramo de carne (mlaceite/gcarne).

**CUADRO 7.14 INTERACCIÓN RAZA
(CHINCHILLA)*GÉNERO SOBRE PARÁMETROS DE
CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO: PRUEBA DE TUKEY**

VARIABLE DE RESPUESTA	CHINCHILLA	
	MACHOS	HEMBRAS
	n= 27	n= 27
TERNEZA	1.851±0.06	1.894±0.06
pH	5.94±0.02	5.98±0.02
L*	47.45±0.79	47.58±0.79
a*	1.03±2.75	3.30±2.75
b*	8.46±0.19	8.89±0.19
CRA	4.77±0.04	4.80±0.04
CE	2.08±0.15	1.93±0.15

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05

Terneza: Se reporta la fuerza máxima obtenida al corte en kg/cm²

Color: L*: Luminosidad; a*: Cromaticidad; b*: Tonalidad.

CRA: Capacidad de Retención de Agua, se reporta como la cantidad de mililitros de agua retenidos por gramo de carne (mH₂O/gcarne).

CE: Capacidad de Emulsificación, se reporta como la cantidad de aceite incorporado por gramo de carne (mlaceite/gcarne).

En cuanto al efecto de la interacción Raza*Género en los machos, la variable Terneza muestra diferencia para la carne CAL siendo la más resistente al corte ($1.994 \pm 0.063 \text{ kg/cm}^2$) vs NZ ($p < 0.035$) con la menor resistencia ($1.804 \pm 0.063 \text{ kg/cm}^2$), mientras que la raza CH tiene una carne con resistencia intermedia ($1.851 \pm 0.063 \text{ kg/cm}^2$) entre las dos razas anteriores. La Capacidad de Emulsificación muestra diferencia para la carne de CAL ($1.45 \pm 0.16 \text{ mlaceite/gcarne}$) y NZ ($1.44 \pm 0.15 \text{ mlaceite/gcarne}$) vs CH ($2.08 \pm 0.15 \text{ mlaceite/gcarne}$; $p < 0.005$; $p < 0.003$, respectivamente). El pH, los componentes del color (L*, a* y b*) así como la CRA no se ven influenciados por la interacción Raza*Sexo (Cuadro 7.15).

En lo que respecta a las hembras, en el cuadro 7.16 se observa que la carne de la raza NZ fue la más tierna ($1.630 \pm 0.063 \text{ Kg/cm}^2$) en comparación con la CH ($1.894 \pm 0.063 \text{ Kg/cm}^2$) ($p < 0.003$). Lo mismo ocurre para el indicador CE entre CH ($1.93 \pm 0.15 \text{ mlaceite/gcarne}$) y NZ ($1.56 \pm 0.15 \text{ mlaceite/gcarne}$) ($p < 0.039$) vs CAL ($1.48 \pm 0.15 \text{ mlaceite/gcarne}$). Para la evaluación del pH, color (L*, a* y b*) y de la CRA no se obtuvieron diferencias estadísticas.

**CUADRO 7.15 COMPARACIÓN DEL EFECTO INTERACCIÓN RAZA*GÉNERO
(MACHOS) SOBRE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO:
PRUEBA DE TUKEY**

VARIABLE DE RESPUESTA	MACHOS		
	CAL	NZ	CH
	n= 27	n= 27	n= 27
TERNEZA	1.994±0.06 ^a	1.804±0.06 ^b	1.851±0.06 ^{a, b}
pH	5.91±0.02	5.94±0.02	5.94±0.02
L*	47.67±0.79	48.67±0.79	47.45±0.79
a*	4.64±2.75	1.16±2.75	1.03±2.75
b*	8.81±0.19	8.72±0.19	8.46±0.19
CRA	4.77±0.04	4.77±0.04	4.77±0.04
CE	1.45±0.16 ^a	1.44±0.15 ^a	2.08±0.15 ^b

^{a, b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05

Terneza: Se reporta la fuerza máxima obtenida al corte en kg/cm²

Color: L*: Luminosidad; a*: Cromaticidad; b*: Tonalidad.

CRA: Capacidad de Retención de Agua, se reporta como la cantidad de mililitros de agua retenidos por gramo de carne (mlH₂O/gcarne).

CE: Capacidad de Emulsificación, se reporta como la cantidad de aceite incorporado por gramo de carne (mlaceite/gcarne).

CAL: California; NZ: Nueva Zelanda; CH: Chinchilla.

**CUADRO 7.16 COMPARACIÓN DEL EFECTO INTERACCIÓN RAZA*GÉNERO
(HEMBRAS) SOBRE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO:
PRUEBA DE TUKEY**

VARIABLE DE RESPUESTA	HEMBRAS		
	CAL n= 27	NZ n= 27	CH n= 27
TERNEZA	1.741±0.06 ^{a,b}	1.630±0.06 ^a	1.894±0.06 ^b
pH	5.89±0.02	5.92±0.02	5.90±0.02
L*	48.43±0.79	47.83±0.79	47.58±0.79
a*	2.13±2.75	2.10±2.75	3.30±2.75
b*	8.61±0.19	9.05±0.19	8.89±0.19
CRA	4.86±0.04	4.92±0.04	4.80±0.04
CE	1.48±0.15 ^a	1.56±0.15 ^{a,b}	1.93±0.15 ^b

^{a,b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística entre tratamientos con una p<0.05

Terneza: Se reporta la fuerza máxima obtenida al corte en kg/cm²

Color: L*: Luminosidad; a*: Cromaticidad; b*: Tonalidad.

CRA: Capacidad de Retención de Agua, se reporta como la cantidad de mililitros de agua retenidos por gramo de carne (mlH₂O/gcarne).

CE: Capacidad de Emulsificación, se reporta como la cantidad de aceite incorporado por gramo de carne (mlaceite/gcarne).

CAL: California; NZ: Nueva Zelanda; CH: Chinchilla.

VIII. DISCUSIÓN.

La comida barata ha dejado de ser la única preocupación para los consumidores en los países occidentales. Otras cuestiones primordiales, definidas como confianza de calidad, incluyendo la salud e inocuidad alimentaria, el valor nutricional, la producción regional o local, la producción orgánica o sustentable, el bienestar animal, la agricultura sustentable, el medio y los recursos naturales han empezado a cobrar mayor importancia. A este respecto, la carne de conejo ofrece excelentes propiedades dietéticas y nutritivas, así como múltiples ventajas en la producción de la especie y costos derivados en comparación con las especies tradicionales; derivado de ello y debido al corto intervalo generacional en los conejos, es posible que se conduzca a cambios en la composición de la canal y en la calidad de la carne (Pla *et al.*, 1996).

8.1 RENDIMIENTO DE LA CANAL Y PESOS RELACIONADOS.

De acuerdo con Pla *et al.* (1996), las razas pueden diferir en la composición de la canal y en la calidad de la carne a un mismo peso de mercado debido a diferencias en el grado de maduración. Aunque los animales que se consumen actualmente provienen a menudo de líneas sintéticas, estas son líneas seleccionadas por tamaño de la camada que se derivan de razas de tamaño mediano (normalmente de origen Nueva Zelanda Blanco y California) y líneas seleccionadas por índice de crecimiento que se derivan usualmente de razas de gran tamaño. Las comparaciones de calidad de carne entre las razas tienen entonces un doble interés. Por un lado, es más fácil encontrar diferencias en la calidad de carne que cuando se comparan líneas de orígenes similares, y por el otro lado, la variación genética entre razas puede ser usada en investigación futura para encontrar genes dominantes o para crear nuevas líneas sintéticas que cuenten con una variación genética en los rasgos en los que la variación dentro de la línea se ha agotado (Hernández *et al.*, 2006).

El estudio realizado por Metzger *et al.* (2011), con 224 conejos divididos de acuerdo con su estatus nutricional por el peso al nacimiento: bajo (L) 35-50 g; medio (M) 58-62 g y alto (H) 70-88 g; matados a las 11 semanas de edad. El peso al nacimiento afectó el peso a la matanza ($p < 0.0001$), el peso de la canal ($p < 0.001$) el rendimiento de la canal ($p = 0.05$), teniendo un peso vivo a la matanza en L de 2.312 kg, M 2.436 kg y H 2.567 kg; en canal fría de: 1.334, 1.399 y 1.499 kg para L, M y H, respectivamente. En el Rendimiento de la canal se obtuvieron valores de 58% para L, M con 57.3% y, H con 57.7%. En el presente estudio, los pesos obtenidos fueron inferiores (PV: 2.141, 2.092 y 1.939 kg para CAL, NZ y CH, respectivamente), esto puede atribuirse al hecho de que los conejos tuvieron 10 semanas de edad y además no se tomó en cuenta el peso al nacimiento.

Al-Dobaib (2010), utilizó un total de 320 machos de la línea española V, Saudi-1, Saudi-2 y Saudi-3, sacrificados a las 12 semanas con un ayuno de 12 horas. En el Peso Canal Caliente obtuvo 1.485 kg para V, 1.436, 1.514 y 1.426 kg para 1, 2 y 3 respectivamente. El presente estudio tuvo valores de PCC de 1.226, 1.218 y 1.099 kg para CAL, NZ y CH; esta diferencia es debido a la edad a la matanza

(12 vs 10 semanas utilizadas en este estudio), además de no haber sido sometidos a ayuno y ser animales de ambos géneros. El Rendimiento de la canal fue de 55.2% (V), 54.3% (1), 54.9% (2), 53.4% (3), en contraste con lo obtenido en este estudio, con valores superiores (56-58%). La variable Peso Piel y Faneras de 321 g (V), 357 g (1), 347 g (2), 356 g (3) vs 392 g en CAL, 376 g para NZ y 349 g los CH. El Peso Vísceras Verdes de 387 g (V), 396 g (1), 386 g (2) y 400 g (3) en comparación con los valores obtenidos en el presente estudio, con pesos de 360 a 384 g; observándose entonces que las razas utilizadas alcanzan un mayor peso de la canal en menor tiempo.

Pascual y Pla (2007) evaluaron las consecuencias de la selección por índice de crecimiento en canales y en calidad de carne por la comparación de 120 animales de una línea sintética, seleccionados (S) vs un grupo control (C), matados cuando alcanzaron 2.0 kg de peso vivo, el cual se alcanzó a los 51 y 55 días de edad en el grupo S y C, respectivamente. El peso de la canal fría y el rendimiento de la canal fueron diferentes entre grupos, aunque estas diferencias no son relevantes; la parte del lomo fue similar para ambos grupos.

El estudio hecho por Combes *et al.* (2003), citado por Pla (2008), compararon conejos producidos convencionalmente con conejos orgánicos con pesos a la matanza similares bajo las condiciones de la reglamentación francesa, por lo cual los conejos son mantenidos en jaulas móviles en pasto ballico-trébol, descubrieron que el rendimiento de la canal y el porcentaje de las patas traseras fueron más altos mientras que el porcentaje de grasa fue menor en la orgánica que en los conejos convencionales.

Asimismo, los conejos de origen orgánico fueron más pesados al sacrificio pero contaban con más edad (90 vs 63 días). Cuando se comparan animales de la misma edad (90-91 días), los conejos criados convencionalmente fueron más pesados (2.900 vs 2.500 kg) que los criados orgánicamente. Las hembras son más pesadas que los machos (2.632 vs 2.342 kg) pero la diferencia fue sólo significativa en el grupo orgánico, probablemente porque el dimorfismo sexual aparece más tarde, a las 13-14 semanas de edad. El peso de la piel representó el 14% del peso vivo para todos los grupos pero, a un peso vivo constante, los conejos orgánicos presentaron un peso de piel menor. El peso del tracto gastrointestinal representó el 24% del peso vivo de los conejos orgánicos, pero sólo el 21% de los criados convencionalmente. El mayor peso puede ser resultado de un mayor contenido de fibra de la dieta orgánica y el crecimiento más rápido del tracto digestivo como un órgano de maduración temprana. El peso del tracto gastrointestinal fue mayor en las hembras que en los machos, pero solamente en el grupo orgánico (609 vs 539 g). No se encontró efecto de grupo o sexo en el peso de canal fría o en el rendimiento de canal a un peso vivo constante. No hubo diferencia entre sexos, pero hubo una tendencia de los machos a tener un mayor rendimiento de canal comparado con el de las hembras. El peso de las patas delanteras fue mayor en el grupo orgánico, probablemente como consecuencia de mayor ejercicio en estos animales. No se encontraron diferencias entre sexos. A peso constante, el lomo y la parte trasera fue más pesada en los conejos criados orgánicamente. Esto corresponde a mayor edad de estos conejos, y a la posibilidad de mayor ejercicio por el sistema de crianza el cual conduce a un mayor desarrollo de la parte trasera, la más preferida por los consumidores. No se encontraron diferencias entre sexos.

Por otro lado, Larzul *et al.* (2003), citado por Hernández *et al.* (2000), en un experimento de selección a los 63 días encontraron que, conforme el peso vivo se incrementa, el porcentaje de piel disminuye, el rendimiento de la canal se ve afectado al mínimo y la grasa perirrenal se incrementa.

En el presente estudio, se obtuvieron diferencias en el Peso Vivo entre las razas California (2.141 ± 0.052 kg) y Nueva Zelanda (2.092 ± 0.037 kg) vs Chinchilla (1.939 ± 0.055 kg) a los 70 días de edad. Las primeras fueron más pesadas por lo que también existieron diferencias en el Peso de la Canal Caliente, pese a ello, el rendimiento de la canal no obtuvo ninguna diferencia. Otro hecho interesante, es que a pesar de que la raza Chinchilla es especializada en producción de piel, no obtuvo el mayor peso en este parámetro (349.62 ± 11.21 g) comparada con el obtenido por la raza California (392.58 ± 10.63 g), aunque se debe tomar en cuenta que el peso Piel y Faneras contempló tanto piel como cola y patas. De acuerdo con Pascual y Pla (2007), las diferencias en el grado de madurez entre los grupos no eran lo suficientemente grandes como para causar cambios relevantes en el rendimiento de la canal, lo cual por lo general aumenta con el grado de madurez.

En un estudio hecho por Dal Bosco *et al.* (2002), los resultados a la matanza mostraron una tendencia afectada por el peso final: los conejos alojados en jaula pesaron más (2.785 kg), en segundo lugar los alojados en jaulas de alambre (2.517 kg) mientras que los criados en camas de paja fueron los menos pesados (2.428 kg). Los porcentajes de rendimiento de canal fueron similares: 60.06, 59.39 y 58.31% respectivamente. Sin embargo, los alojados en paja obtuvieron el mayor porcentaje en muslos (43.52% vs 41.84% en jaula y 42.15% en alambre) así como menor porcentaje de grasa perirrenal.

Según Pla *et al.* (1998), debido a que el mercado fija el peso a la matanza, la consecuencia de la selección es que los productos terminales son matados a edades más tempranas, lo que puede afectar la calidad de la carne y la canal. Por otro lado, el peso a la matanza es diferente en cada país, en consecuencia, la selección puede ser muy variable de un país a otro. Es también posible que el tamaño de las canales comerciales simplemente cambie con el tiempo. El mismo proceso ha sido observado en otras especies, como en los cerdos o los bovinos, donde los pesos de las canales han cambiado con el tiempo.

De acuerdo con Martínez-Castillo (2004), la calidad de la canal de conejo se refiere principalmente al peso en canal (que varía desde 1.0 hasta 1.8 kg, de acuerdo a los diferentes países o regiones consideradas), el rendimiento a la matanza, conocido como la canal entera (55-61% del peso vivo) o el rendimiento por cortes (lomo: 23-28%; patas traseras: 27-29% de la canal fría). El rendimiento de la canal es una variable económica muy importante en el mercado de los conejos y usado como un criterio general usado en España, considerando un rendimiento entre 56-62% (59% en promedio) de referencia. El rendimiento de canal en México oscila entre 50-60% (55% en promedio). El corte de las canales de conejo antes de su comercialización es cada vez más común; sin embargo, su desarrollo se ve obstaculizado en la actualidad debido a que el peso normal al sacrificio, 2.3 kg, es demasiado bajo. Gondret *et al.* (2002), mencionan que un aumento en el peso para abasto podría lograrse mediante el uso de genotipos más pesados o por el retraso de la edad a la matanza. El costo de producción podría ser contrarrestado por los mayores precios de venta otorgados a un producto con mejores cualidades.

Los porcentajes de rendimiento de canal en el presente estudio fueron de 56.93, 57.98 y 56.64% para las razas California, Nueva Zelanda y Chinchilla, respectivamente, siendo superiores al promedio contemplado para México. En cuanto al rendimiento en despiece de la canal, se obtuvo mayor peso del lomo y piernas en la raza Nueva Zelanda (335.64 ± 14.24 y 408.10 ± 13.10 g), demostrando su gran capacidad para la producción cárnica. Los efectos de género y la interacción entre raza*género no tuvieron efecto sobre los parámetros medidos, pero hubo una tendencia de las hembras a obtener mayores pesos en lo que respecta al lomo y piernas.

La evaluación de las líneas A, V y R sacrificados a las 9 semanas de edad hecha por Pla *et al.* (1998), arrojó diferencias entre sexos en las patas traseras: estaban más desarrolladas en machos (38.5% vs 37.8%); hecho contrario a lo encontrado en este estudio, ya que las hembras obtuvieron mayor peso (388.95 vs 373.66 g), de forma general. Cuando se hace la comparación entre géneros de cada raza, las hembras fueron superiores en CAL (406.88 vs 364.51 g) y CH (352.19 vs 348.07), no así en los NZ, los cuales tuvieron pesos semejantes.

8.2 PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO.

El músculo *Longissimus dorsi* (*Ld*) se estudia debido a su importancia para la industria cárnica del conejo, siendo un músculo predominantemente de contracción rápida-glucolítica. La variación en la calidad de la carne también depende del tipo del metabolismo muscular. Diversos estudios señalan que los músculos oxidativos son más jugosos y con más sabor. El metabolismo glucolítico podría ser aumentado por la selección por rápido crecimiento y mejorar la musculatura; de hecho, Ouhayoun & Delmas (1983), citado por Hernández *et al.* (2006), encontraron que conejos con mayor ganancia diaria de peso presentan una actividad glucolítica mayor que podrían afectar la calidad de la carne.

La alimentación y el peso a la matanza así como el sexo (Pla *et al.*, 1998) se han descrito como factores que influyen en la calidad de la carne de conejo. Estos factores son conocidos o pueden ser contenidos y controlados. La influencia del peso -o edad- es enorme, mientras que la restricción de la alimentación tiene un efecto moderado (Dalle-Zotte, 2002). Sin embargo, la variabilidad en los componentes miofibrilares y conectivos permanece incontrolable. De hecho, la dureza de la carne depende principalmente de estas dos estructuras: la estructura miofibrilar y el tejido conectivo. La estructura miofibrilar está fuertemente influenciada por las condiciones de crianza de los animales. Por ejemplo, según Greenwood *et al.* (2007), citado por Damez & Clerjon (2008), encontraron que los corderos de una o varias cruza presentaron diferencias significativas en los tipos de miofibrillas, mientras que Gondret *et al.* (2005), citado por Damez & Clerjon (2008), encontraron cambios en los tipos de miofibrillas de acuerdo con los sistemas de crianza en el interior o al aire libre. Por otro lado, el tejido conectivo está directamente relacionado con las características zootécnicas de los animales al sacrificio. Estos componentes deben ser evaluados no sólo en términos de cantidad, sino también en términos de distribución intramuscular. De acuerdo con Damez & Clerjon (2008), la organización espacial de la red conjunta de grasa y fibras musculares, que define las “hebras de carne” y el marmoleado, es una de las características de la estructura de la carne fuertemente conectada a la terneza de ésta.

La textura es un concepto complejo que incluye muchos factores diferentes, entre los que se encuentran, la fibrosidad, la cohesividad, la masticabilidad y la terneza. La textura de la carne engloba factores importantes para los consumidores, ya que determinan el valor comercial y la forma en que se van a consumir. La terneza de la carne está influenciada por tres factores principales: la longitud del sarcómero, la cantidad de tejido conectivo y su grado de cruzamiento y, la extensión de los cambios proteolíticos que se producen durante el acondicionamiento *post-mortem*. Según María *et al.* (2006), grandes cantidades de grasa intramuscular, que son poco comunes en conejos, también aumentarán la terneza. Las propiedades mecánicas de la carne dependen de muchos tipos de fibras. Las

características del tejido conectivo y miofibrilar pueden cuantificarse mecánicamente mediante pruebas de estrés a bajas y altas tasas de compresión en la carne cruda.

Para Pla *et al.* (1998), ningún grupo de diferentes pesos o sus interacciones fueron significantes para ningún parámetro estudiado en terneza (Fuerza de corte inicial y Fuerza Máxima de Corte). Xiccato *et al.* (1994), citado por Pla *et al.* (1998), no encontraron efecto de la edad en la fuerza de corte ni en la dureza sensorial en carne de lomo de conejos de 77 a 91 días de edad, pero en este caso, todos los animales provenían de la misma línea genética.

En la investigación hecha por Combes *et al.* (2003), citado por Pla (2008), la carne de conejo orgánico fue más tierna que la de conejos criados convencionalmente; no se encontraron diferencias entre sexo. Por su parte, Matics *et al.* (2014), utilizaron 579 animales Blanco Pannon distribuidos en un Grupo Control en jaulas convencionales (0.12 m²) con 2 animales por jaula; Corrales Elevados con 9 animales por corral (10.5 conejo/m², grupo P); Grupos con corrales elevados: PW con malla de alambre y PD con paja. Fueron matados a las 11 semanas de edad. La terneza arrojó valores de 1.63 kg/cm² (C); 1.81 kg/cm² (P); 1.75 kg/cm² (PW); 1.90 kg/cm² (PD).

Gil *et al.* (2006), utilizó conejos híbridos comparando la 7ma. (C) vs 21va. (S) generación, matados a los 63 días de edad. La fuerza de corte en la prueba de Warner-Bratzler fue significativamente mayor en los animales seleccionados que en el grupo control así como la masticabilidad y la dureza.

En el presente estudio, la terneza se vio afectada por el efecto raza, ya que la carne del músculo *Ld* fue más tierna en la Nueva Zelanda (1.717±0.04 kg/cm²) comparada con la Chinchilla (1.873±0.04 kg/cm²) que fue la que requirió mayor fuerza al corte. El género también tuvo un efecto importante en este indicador, ya que la carne de las hembras fue más tierna que la de los machos (1.755 vs 1.883), repitiéndose este mismo efecto en cada interacción raza*género, a excepción de la raza Chinchilla, que no tuvo influencia por el sexo, pero si fue la más dura cuando se hace la comparación entre hembras de las diferentes razas. Estas diferencias en la terneza de la carne pueden ser atribuidas a un incremento en el metabolismo glucolítico en la raza de conejos, el cual reduce la capacidad de retención de agua del músculo; sin embargo, la carne de las hembras siempre mostró menor dureza debido a una mayor CRA que la de los machos.

Es por esto, que las diferencias entre los parámetros de terneza entre razas pueden ser explicadas como una combinación del efecto de la grasa intramuscular y el recambio proteico. En un experimento llevado a cabo en la pechuga de aves con diferentes tasas de crecimiento, Schreurs *et al.* (1995), citado por Pla *et al.* (1998), encontraron que diferentes tipos de aves desarrollan capacidades proteolíticas diferentes. Las enzimas proteolíticas tales como las catepsinas están involucradas en los cambios estructurales y bioquímicos que tienen lugar durante el almacenamiento *post-mortem* de la carne. Varios estudios realizados en diferentes especies han indicado una influencia de tipo genético en la actividad de estas enzimas. De acuerdo con Ariño *et al.* (2006), la terneza de la carne puede verse también afectada por la cantidad de colágeno así como de la solubilidad de éste.

Pla *et al.* (1998), estudiaron el efecto de una línea genética de conejos en ciertas características de la canal, incluyendo propiedades de terneza. Estos autores concluyen que las diferencias en la terneza del lomo de conejo fueron más afectadas por origen genético que por el peso corporal. Productos de degradación de las proteínas del citoesqueleto, titina y nebulina, que son degradados en la etapa *post-mortem* temprana y se proponen como la causa principal del debilitamiento de la estructura del

sarcómero en la unión entre las líneas Z y las bandas I, observadas en la carne madura. Las tres proteínas, troponina T, titina y nebulina, están presentes en las regiones de la banda I en la miofibrilla intacta, que experimentan una considerable ruptura durante la maduración muscular y su desorganización combinada puede contribuir significativamente a la fragmentación de la miofibrilla y, por lo tanto, a la terneza. Varios autores como Gil *et al.* (2006), han reportado que las calpaínas y calpastatinas son muy inestables durante el almacenamiento *post-mortem* y la mayoría de los cambios en su actividad se producen a principios de esta etapa. En contraste, con respecto a las actividades de las catepsinas, Dransfield *et al.* (1992), citado por Gil *et al.* (2006), demostraron que el nivel de las enzimas lisosomales se mantuvo esencialmente sin cambios durante el almacenamiento. Se puede concluir que las diferencias en terneza de la carne de lomo de conejo son afectadas por un origen genético que por el peso del animal.

Bate-Smith (1939), citado por Jolley (1990), observó que la tasa de aparición del rigor en el conejo parecía depender en gran medida de la cantidad de actividad inmediatamente antes y después del aturdimiento y que esta actividad parecía ser la única responsable de la variación en el pH dentro de los 5 minutos después de la muerte (pH inicial, pH_i). Con conejos aturdidos, la lucha violenta durante la posterior decapitación induce un cambio en la media del pH_i de 7,0 observado en animales totalmente relajados a 6.5, con un pH_i más bajo de 6.25. Los músculos en animales de este tipo entran en rigor 2-3 horas *post-mortem* si se mantienen a 37°C, y en 5-6 horas *post-mortem* si se mantienen a 17°C; el pH_u en el conejo suele alcanzarse alrededor de 4 horas después. Estos tiempos para alcanzar el rigor y pH_u son comparativamente rápidos y, así el conejo podría ser una de las especies para las que la carne PSE podría ser un problema. Sin embargo, el más bajo pH_i observado por Bate-Smith y Bendall (1949) en su investigación ha sido 6.24. Esto hace poco probable que sea suficientemente bajo para dar lugar a carne PSE. El tamaño de la canal de conejo también se presta para el enfriamiento rápido, minimizando aún más el riesgo.

En la ausencia de estudios en sentido contrario, también podría sugerirse que un cierto grado de palidez es un atributo positivo de calidad de la carne de conejo, aunque, sin duda, el exudado excesivo sería perjudicial. Por tanto, la conclusión provisional es que, incluso si la carne se inclina a PSE, es poco probable que sea un problema comercial; sin embargo, el bajo pH_i es todavía importante como un indicador potencial de estrés, por ejemplo en la identificación de prácticas de manipulación para minimizar el estrés en carga, espera y descarga (Jolley, 1990).

Asimismo, Bate-Smith y Bendall (1949) fueron capaces de manipular los niveles de glucógeno muscular en conejos a través del ayuno durante 48-72 horas. El pH final (pH_u; definido por Bate-Smith y Bendall (1949) como el obtenido 2-10 horas después de la finalización del rigor, hoy en día el pH del músculo 24-48 horas post-matanza), que en el músculo *psaos* varió entre 6.3 y 6.7 en esos animales en comparación con una media de 5.90 para los músculos de controles bien alimentados. El agotamiento parcial del glucógeno por esta inanición con frecuencia se puede invertir por la gluconeogénesis. El transporte (ya sea 6 o 24 h) aumenta el agotamiento del glucógeno sobre solamente ayuno en el músculo *Ld* y *biceps femoris*, independientemente de si los animales habían sido alimentados antes del viaje. En otros animales de carne, se esperaría que este agotamiento adicional de glucógeno inducido por el transporte aumentará el pH_u, y a su vez, se esperaría influyera en la calidad de la carne; si es grave, un mayor pH_u conduce a cortes secos, oscuros y firmes (DFD) en la carne de res y cerdo. La carne de conejo se ve afectada exactamente de la misma manera (Jolley, 1990).

Liste *et al.* (2009), estudiaron animales híbridos de dos meses de edad (peso vivo: 2.300 kg), transportados por 3 horas y con un tiempo de estabulación corto (2 h) y largo (8 h) en la posición de estabulación alta, media y baja. El pHu no se vio afectado entre tratamientos. En la investigación hecha por Combes *et al.* (2003), citado por Pla (2008), el pH del músculo *Ld* de los conejos orgánicos fue menor que los convencionales; esto podría ser debido a una edad mayor de los conejos orgánicos; sin embargo, los efectos del ejercicio aún son inciertos así como el efecto de los diferentes sistemas de crianza.

En el estudio hecho por Dal Bosco *et al.* (2002), se encontró menor pHu en los conejos con cama de paja (5.66) y los de jaula obtuvieron el más alto (5.86). Los conejos criados en sistemas intensivos de jaulas gastan mayor tiempo descansando y comiendo que los alojados en corrales. Esto puede ser debido a las densidades mayores y a las dimensiones reducidas de las jaulas que reducen las posibilidades de movimiento. Los conejos criados en corrales muestran un comportamiento más activo gastando más tiempo en movimiento, actividad social y confort, particularmente los alojados con cama de paja.

Para Pla *et al.* (1998), los animales de la línea R mostraron un pH mayor que los de las líneas A y V pero no hubo efecto por grupo de peso; los machos obtuvieron un pH mayor que las hembras (5.65 vs 5.59). Por otro lado, para Pla *et al.* (1998), el efecto de grupo, estrechamente ligado a la edad, no mostró ningún efecto en el pH, contrario a lo que Dalle-Zotte & Ouhayoun (1995) encontraron, según ellos, el pH disminuye de los 28 a los 70 días.

María *et al.* (2001), utilizaron 148 conejos blancos híbridos sin importar el género, con pesos vivos de 2 kg. Fueron insensibilizados con un electrodo de metal en forma de “V” con orillas serradas para un óptimo contacto atrás de los ojos y en la base de las orejas y así abarcar el cerebro: 1 (49 V 5.6 ms 179 Hz 3s); 2 (130 V 6.2 ms 161 Hz 3s); 3 (19 V 0.6 ms 1667 Hz 3s); 4 (130 V 0.6 ms 1667 Hz 3s); 5 (19 V 6.2 ms 161 Hz 3s). El método de aturdimiento no afectó de manera significativa el pH del músculo *Ld* en los conejos de los tres primeros métodos de aturdimiento (5.98 ± 0.04). Sólo se observó un leve efecto en el pH a las 24 horas (menor pH 5.91 ± 0.038) en los animales insensibilizados utilizando el método 4. Las pequeñas diferencias entre los métodos para el pH a 24 h indican que la calidad de la carne es independiente del método de aturdimiento aplicado.

Algunos autores han observado que el pH no se ve influenciado por la selección por índice de crecimiento cuando se comparan animales de similar etapa de madurez o por edad. Sin embargo Dalle-Zotte & Ouhayoun (1995) y Dalle-Zotte *et al.* (1996), citados por Pascual & Pla (2007), encontraron que el pH disminuye con la edad, en conejos que van de 56 a 84 o 55 a 87 días de edad, respectivamente. De acuerdo con algunos autores, los animales seleccionados deben presentar un mayor porcentaje de agua liberada, dado que este parámetro se incrementa cuando se selecciona por índice de crecimiento y es mayor en animales jóvenes. En el estudio hecho por Metzger *et al.* (2011), para los valores de calidad de carne obtuvieron un pH de 5.93 en L y M y de 5.96 en H. En el presente estudio se obtuvieron valores similares para las razas estudiadas: 5.90, 5.93 y 5.96 para California, Nueva Zelanda y Chinchilla, respectivamente; además, no se encontraron diferencias por género ni por la interacción raza*género. De acuerdo a lo anterior, en este estudio el pH no se encontró disminuido por la edad.

De acuerdo con Dal Bosco *et al.* (2002), el pHu influye en la estructura de las miofibrillas y en consecuencia en la CRA y el color de la carne. Está bien establecido que el encogimiento de los

elementos contráctiles debido a un pHu inferior reduce la capacidad de unión de agua y aumenta la dispersión de la luz. Además, reduce la importancia de la mioglobina en la absorción selectiva de luz verde. En tal condición la carne parece menos roja y más amarilla.

Según Jolley (1990), más allá de los efectos del ayuno, el transporte incrementa el pHu y disminuye la luminosidad y la saturación del color (es decir, la carne es más oscura). La capacidad de retención de agua se incrementa y disminuye la pérdida por goteo por el transporte. Aunque estos efectos no son todos perjudiciales para la calidad, sin duda, contribuyen a una variabilidad en la calidad. Además, un alto pHu conduce normalmente a reducir la vida útil de anaquel. En el presente estudio, se obtuvieron los valores dados en la media (5.90) para los animales bien alimentados y que no fueron transportados, por lo que el estrés al que pudieron someterse fue mínimo y esto se ve reflejado en los valores obtenidos.

Los datos de pH de la carne de conejo publicados en la literatura son muy variables e incluso contradictorios. Esta variabilidad se ha atribuido en parte a los métodos de aturdimiento, pero la influencia de otros factores también se han observado, como el desangrado o a una sensibilidad especial al estrés en algunos individuos.

Uno de los aspectos más importantes en términos de apariencia de la carne es el color, que el consumidor utiliza como un indicador de calidad y frescura. La cantidad de mioglobina en el músculo determina el color. La proporción de mioglobina oxigenada y reducida proporciona una idea subjetiva de la frescura y la mioglobina oxidada (gris-marrón) o metamioglobina es indeseable. La estabilidad del color está asociada con el tratamiento pre-matanza (María *et al.*, 2006). Las mediciones del color de la carne son usualmente tomadas de cortes en canales de bovino, ovinos o cerdos, pero las canales de conejos son comercializadas como un todo, así que medidas de color de la canal tomadas en diferentes músculos parece ser un criterio de calidad más sensible.

Según Jolley (1990), los músculos de conejo pueden ser exudativos si son sometidos a altas temperaturas (mayores a 37°C) durante el rigor. Del mismo modo, el lento enfriamiento de las canales producen músculos que dispersan más la luz que aquellas canales rápidamente enfriadas; el aumento de la dispersión de la luz se asocia normalmente con carne más pálida. Por lo tanto, la carne de conejo exhibe propiedades similares a la de cerdo cuando se trata de manera similar y, también, los conejos muestran características cerca de la clásica DFD; pero los conejos responden de manera similar al estrés a corto plazo.

Dal Bosco *et al.* (1997), citado por María *et al.* (2006), sugirieron que valores de a* podrían ser una consecuencia de altos valores de pH. Otros estudios encontraron que los valores de luminosidad fueron más bajos en la carne de los animales sometidos a transporte prolongado. Por su parte, Jolley (1990), citado por María *et al.* (2006), informó que el tiempo de transporte disminuye la luminosidad y la saturación del color, lo que hace que la carne se vea más oscura, pero sin ningún efecto perjudicial sobre la calidad. El tiempo de transporte aumentó los valores a* y C*, que podría estar relacionado con un mayor contenido de pigmento. Sin embargo, el tiempo de transporte no influye significativamente en otros parámetros de color. La época del año afectó a todos los parámetros de color de la carne, pero los efectos no fueron suficientes para tener un efecto negativo en la calidad de la carne.

En la investigación hecha por Combes *et al.* (2003), citado por Pla (2008), la luminosidad (L*) de las canales de los conejos orgánicos fue ligeramente mayor que aquellas de los conejos convencionales. El valor rojo (a*) fue mayor en el grupo orgánico mientras que para el valor b* fue menor y fue cerca de cero para ambos grupos. No se encontró diferencia en el color de la canal debido al sexo. La carne del músculo *Ld* de conejos orgánicos tuvo una menor luminosidad pero fue más coloreada (mayor valor de a* y b*) que el *Ld* de los conejos convencionales. En el caso de valores mayores, probablemente se deba a que es posible un ejercicio mayor y este hecho conduce a metabolismo oxidativo y a carne más coloreada. En el grupo orgánico, los machos obtuvieron un valor de a* mayor (8.07) que las hembras (6.90), pero no se encontraron más diferencias debido al sexo.

Pascual & Pla (2007), obtuvieron valores de Luminosidad (53.96) y valor de b* (0.92) en la canal mientras que Pla *et al.* (1996), reportan 57.1 y 2.8 respectivamente. La luminosidad de la carne fue menos en el grupo S, pero la diferencia no es significativa.

Este parámetro no es influenciado por la selección cuando se comparan animales de una etapa similar de madurez pero la influencia del grado de maduración no es tan clara. Dalle-Zotte *et al.* (1996), citado por Pascual & Pla (2007), no encontraron diferencias cuando compararon animales matados a los 55 y 87 días de edad. Sin embargo, Hernández *et al.* (2004) y Polak, Gasperlin, Rajar & Zlender (2006), citados por Pascual & Pla (2007), observaron una disminución de la luminosidad con la edad, en los rangos de 63-91 días y 93-105 días, respectivamente.

Metzger *et al.* (2011), obtuvo valores de L* fue de 50.8 (L), 50.0 (M) y 49.3 (H); a* 4.63 (L), 4.74 (M) y 5.09 (H); b* 3.60 (L), 3.27 (M) y 3.10 (H). Para Matics *et al.*, (2014), la luminosidad fue de 50.3 (C); 50.5 (P); 49.5 (PW); 50.5 (PD). El valor a* 2.52 (C); 3.64 (P); 3.13 (PW); 3.51 (PD) y para b*, 0.46 (C); 1.02 (P); 0.89 (PW); 0.89 (PD).

Para Pla *et al.* (1998), el color no mostró diferencia en ninguno de los parámetros medidos. El color de la canal medido en el lomo fue pálido, con alta luminosidad similar a la encontrada en otros experimentos. Para este estudio, tampoco se mostró ninguna diferencia en los parámetros de color medidos y de forma similar, los lomos presentaron una alta luminosidad, pero el valor de b* es superior a lo encontrado en otros trabajos (8.71 para CAL, 9.04 en NZ y 8.67 la raza CH), teniendo carne más pálida.

El estrés *ante-mortem* puede cambiar la terneza de la carne y el color; esto debido a que el estrés provoca altas temperaturas musculares, una glucólisis *post-mortem* más rápida y el descenso del pH. La cromaticidad es el parámetro de color más importante para evaluar los efectos de la oxidación de la carne. El aire prolongado en el almacenamiento a menudo implica una disminución en el valor de a* debido a la oxidación de oximioglobina (color rojo brillante) a metamioglobina (marrón). El aumento del valor b* se encuentra a menudo asociado con la presentación de carne PSE y a la desnaturalización de las proteínas miofibrilares. La variación en b* es también dependiente de la cantidad de pigmento presente y de la tasa de mioglobina expuesta al oxígeno. La actomiosina extraída de carne PSE muestra grandes cambios conformacionales en comparación con la carne normal debido a la exposición de los residuos hidrofóbicos aromáticos internos de los aminoácidos (Traore *et al.*, 2012).

La terneza es un criterio muy importante al evaluar la calidad de la carne. Una disminución de la CRA está usualmente relacionada a una disminución en la terneza y en la textura. El estrés puede aumentar el pH final y la oscuridad de la carne, pero también aumentar la terneza y las cualidades sensoriales al

hacer la carne más tierna y jugosa. Para Liste *et al.* (2009), la CRA fue significativamente mayor en los conejos de la parte superior del camión (15.68 ± 0.4) y menor para los conejos de la base (13.84 ± 0.37) mientras que para los ubicados en el medio fue de 14.1 ± 0.4 .

Piles *et al.* (2000), citado por Hernández *et al.* (2000), compararon un grupo control y un grupo seleccionado por tasa de crecimiento donde encontraron una CRA menor en el grupo seleccionado y una reducción en el contenido de grasa de la canal.

La disminución en la CRA y por lo tanto el aumento de la pérdida por goteo se deben probablemente a la combinación de un aumento del glucógeno y a una disminución en el contenido de proteína. Ambos componentes pueden retener el agua en el músculo *in vivo*.

La CRA en este estudio no mostró diferencias entre razas pero si entre géneros, siendo las hembras las poseedoras de carne con mayor capacidad de retención de agua, en especial las de la raza Nueva Zelanda (4.92 ± 0.04 mLH₂O/g de carne). En la investigación hecha por Combes *et al.* (2003), citado por Pla (2008), la CRA mostró una tendencia en las hembras a ser mayor que en los machos. Para Pla *et al.* (1998), la CRA en carne cruda no presentó diferencias en ningún grupo, pero la CRA en carne cocinada fue mayor en los animales del grupo de menor peso. Sin embargo, existen diferencias entre sexos, las hembras retienen más agua que los machos (36% en comparación con 34.43%), aunque no se encontró diferencia en la carne del músculo *Ld*, indicando el posible efecto de diferencias estructurales en el músculo de ambos sexos.

De acuerdo con Olmedilla-Alonso *et al.* (2013), la composición de los tejidos animales y, por lo tanto, de las canales y los cortes comerciales (y las materias primas a base de carne), no sólo varían según la especie, sino también de acuerdo a la raza, edad, sexo, tipo de alimentación, etc. Existen considerables diferencias en la funcionalidad proteica, dependiendo del origen del miosistema (carne o pescado), el tipo de carne e incluso el músculo en particular. Esta diferencia en el comportamiento funcional se ha descrito en los estudios sobre las propiedades emulsificantes en diferentes especies (merluza, bacaladilla, jurel, sardina, pez roca, cerdo, pollo, res) pero no así para el conejo. Las diferencias en la funcionalidad que surjan de las características de los miosistemas han sido explicadas como derivadas de factores inherentes a las proteínas, o de los aspectos cuantitativos de los factores que afectan a la naturaleza del sistema en el que se estudia el comportamiento funcional (por ejemplo, la concentración de proteínas solubles, pH, fuerza iónica) (Cofrades *et al.*, 1996).

La formación de la emulsión cárnica incluye la activación de la mayoría de las proteínas presentes en el músculo mediante la desorganización del sarcolema para liberar la miosina y la actina, y posteriormente solubilizado por sales y fosfatos. Las proteínas miofibrilares, con las estructuras fibrosas, se convierten en un fluido viscoso durante la activación proteica. Este fluido es responsable de la emulsificación de la grasa y de la inmovilización del agua añadida. El cambio de proteínas fibrosas en un fluido viscoso es relativamente fácil en la carne de cerdo y de pollo, pero más difícil en la carne de bovino y ovino. Esto es debido a que las diferentes especies animales pueden presentar una amplia variedad de características de proteicas, probablemente debido a los efectos de interacción. Estas diferencias en las propiedades funcionales también pueden derivarse de factores intrínsecos tales como la estructura proteica, la masa molecular y la composición de aminoácidos.

Según Feiner (2006), la dureza de la carne como resultado de la variación del espesor de la fibra entre la carne y el tipo de corte, está también relacionada con la variación de la solubilidad proteica dentro

de las mismas especies animales. Westphalen *et al.* (2006), están de acuerdo en este aspecto y también informan que las características finales de un producto cárnico emulsificado se deben al tipo de músculo. Esto se observa en el hecho de que la miosina extraída de un músculo rojo consistentemente produce geles débiles, en comparación con las proteínas obtenidas a partir de los músculos blancos. También se ha reportado que los geles hechos con proteínas miofibrilares de la pierna de gallina (roja) tienen módulos de almacenamiento más bajos, en comparación con los geles hechos con proteínas de pechuga de pollo; esta variación en módulos de almacenamiento fue independiente del pH, la fuerza iónica o el contenido de antioxidante (Hui *et al.*, 2012).

Relativamente pocos estudios se han llevado a cabo para comparar la calidad de la canal y la carne en razas de conejos. Estudios de calidad de la carne se basan usualmente en la determinación del pH muscular, de la CRA y la terneza. A este respecto, hace falta mayor información acerca de la capacidad de emulsificación de la carne de conejo, ya que se ha dejado de lado la capacidad de transformación y las múltiples ventajas que podría acarrear a la industria la incorporación de este tipo de carne a los alimentos procesados, como los valores obtenidos en el presente trabajo, donde la raza Chinchilla mostró excelentes cualidades de emulsificación (2.01 mlaceite/gcarne) *versus* 1.46 y 1.50 mlaceite/gcarne en CAL y NZ.

Las diferencias entre razas en calidad de la carne tienden a ser pequeñas, lo cual implicaría una cierta constancia en la calidad de la carne de conejo, lo que haría que fuera similar en diferentes presentaciones en el mercado (Hernández *et al.*, 1998).

IX. CONCLUSIONES.

El presente estudio muestra que los animales de la raza Chinchilla obtuvieron pesos vivos y pesos de la canal caliente menores que las razas Nueva Zelanda y California, sin que esto repercuta en el rendimiento de la canal. El rendimiento de la canal que se reporta para todas las razas es superior a la media obtenida en México. El género de los conejos no tiene efecto sobre el rendimiento de la canal; sin embargo, las hembras tienen una tendencia a presentar canales, lomo y piernas más pesados.

Los parámetros de calidad de carne muestran que la raza tiene efecto sobre la Terneza, siendo la raza Nueva Zelanda la poseedora de la carne más tierna; el mismo fenómeno se reporta para el efecto género, dado que las hembras presentaron menor resistencia al corte, por lo que se eleva la suavidad de esta carne. La interacción del efecto raza*género mostró que las hembras de la raza Nueva Zelanda cuentan con la carne más tierna y los machos California la carne de mayor dureza.

En lo que respecta a la capacidad de emulsificación, la raza Chinchilla es la poseedora de carne con mejores características para formar emulsiones. A este respecto, es necesario realizar más estudios sobre la utilidad de esta especie animal y la utilidad de su carne en la industria alimenticia.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Al-Dobaib S.N. 2010. Effect of diets on growth, digestibility, carcass and meat quality characteristics of four rabbit breeds. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 17: 83-93.

Álvarez D., Castillo M., Payne F.A., Garrido M.D., Bañón S., Xiong Y.L. 2007. Prediction of meat emulsion stability using reflection photometry. *Journal of Food Engineering*, 82: 310-315.

Ariño B., Hernández P., Blasco A. 2006. Comparison of texture and biochemical characteristics of three rabbit lines selected for litter size or growth rate. *Meat Science*, 73: 687-692.

Buxadé C. 1996. *Zootecnia. Bases de la producción animal. Tomo X: Producciones cunícola y avícola alternativas.* Madrid-España: ediciones Mundi-Prensa. Pp. 117-120.

Carrilho M.C., López M., Campo M.M. 2009. Effect of the fattening diet on the development of the fatty acid profile in rabbits from weaning. *Meat Science*, 83: 88-95.

Cheeke P.R. 1995. *Alimentación y nutrición del conejo.* Zaragoza-España: Editorial Acribia. Pp. 429.

Choi Y.M. & Kim B.C. 2009. Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms and meat quality. *Livestock Science*, 122: 105-118.

Cofrades S., Carballo J., Careche M., Jiménez-Colmenero F. 1996. Emulsifying properties of actomyosin from several species. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie. LWT-Food Science and Technology*, 29: 379-384.

Corino C., LoFiego D.P., Macchioni P., Pastorelli G., Di Giancamillo A., Domeneghini C., Rossi R. 2007. Influence of dietary conjugated linoleic acids and vitamin E on meat quality and adipose tissue in rabbits. *Meat Science*, 76: 19-28.

Corino C., Pastorelli G., Pantaleo L., Oriani G., Salvatori G. 1999. Improvement of color and lipid stability of rabbit meat by dietary supplementation with vitamin E. *Meat Science*, 52: 285-289.

D'Alessandro A. & Zolla L. 2013. Meat science: From proteomics to integrated omics towards system biology. *Journal of Proteomics*, 78: 558-577.

Dal Bosco A., Castellini C., Mugnai C. 2002. Rearing rabbits on a wire net floor or straw litter: behavior, growth and meat qualitative traits. *Livestock Production Science*, 75: 149-156.

Dalle-Zotte A. & Ouhayoun J. 1998. Effect of genetic origin, diet and weaning weight on carcass composition, muscle physicochemical and histochemical traits in the rabbit. *Meat Science*, 50: 471-478.

Dalle-Zotte A. & Szendrő Z. 2011. The role of rabbit meat as functional food. *Meat Science*, 88: 319-331.

Dalle-Zotte A. 2002. Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Livestock Production Science*, 75: 11-32.

Damez J.L. & Clerjon S., 2008. Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure. *Meat Science*, 80: 132-149.

DeMayolas E. 2007. Conejos para Carne. Estrategias de Producción, Gestión Económica, Comercialización. 3ra edición. Buenos Aires-Argentina: Hemisferio Sur. Pp. 174.

Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana, NOM-033-ZOO-1995, Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres.

Einarsdóttir H., Nielsen M.S., Miklos R., Lametsch R., Feidenhans'l R., Larsen R., Ersbøll B.K. 2014. Analysis of micro-structure in raw and heat treated meat emulsions from multimodal X-ray microtomography. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 24: 88-96.

Fennema O.R. 2000. Química de los Alimentos. 2da edición. Zaragoza-España: Acribia. Pp.1258.

Gil M., Ramírez J.A., Pla M., Ariño B., Hernández P., Pascual M., Blasco A., Guerrero L., Hajós G., Szerdahelyi E.N., Oliver M.A. 2006. Effect of selection for growth rate on the ageing of myofibrils, meat texture properties and the muscle proteolytic potential of *m. longissimus* in rabbits. *Meat Science*, 72: 121-129.

Gondret F., Combes S., Larzul C., de Rochambeau H. 2002. Effects of divergent selection for body weight at a fixed age on histological, chemical and rheological characteristics of rabbit muscles. *Livestock Production Science*, 76: 81-89.

Gordon A. & Barbut S. 1997. Meat batters: Effect of chemical modification on protein recovery and functionality. *Food Research International*, 30: 5-11.

Guerrero-Legarreta I. & Arteaga-Martínez M.R. 2001. Tecnología de carnes: Elaboración y preservación de productos cárnicos. México: Trillas-Universidad Autónoma Metropolitana. Pp. 94.

Guo Y., Li J., Shang J., Jin Y. 2012. Development of Muscle-related genes and their effects on meat quality. *Energy Procedia*, 16: 229-233.

Hernández P., Ariño B., Grimal A., Blasco A. 2006. Comparison of carcass and meat characteristics of three rabbit lines selected for litter size or growth rate. *Meat Science*, 73: 645-650.

Hernández P., Pla M., Blasco A. 1998. Carcass characteristics and meat quality of rabbit lines selected for different objectives: II. Relationships between meat characteristics. *Livestock Production Science*, 54: 125-131.

Hernández P., Pla M., Oliver M.A, Blasco A. 2000. Relationships between meat quality measurements in rabbits fed with three diets of different fat type and content. *Meat Science*, 55: 379-384.

Hopkins D.L. & Thompson J.M. 2001. The relationship between tenderness, proteolysis, muscle contraction and dissociation of actomyosin. *Meat Science*, 57: 1-12.

Hui Y.H. *et al.*, 2012. *Handbook of Meat and Meat Processing*. 2nd edición. Florida-USA: CRC Press. Pp. 982.

Jolley P.D. 1990. Rabbit transport and its effects on meat quality. *Applied Animal Behaviour Science*, 28: 119-134.

Joo S.T., Kim G.D., Hwang Y.H., Ryu Y.C. 2013. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat Science*, 95: 828-836.

Lee S.H., Joo S.T., Ryu Y.C. 2010. Skeletal muscle fiber type and myofibrillar proteins in relation to meat quality. *Meat Science*, 86: 166-170.

Liste G., Villarroel M., Chacón G., Sañudo C., Olleta J.L., García-Belenguer S., Alierta S., María G.A. 2009. Effect of lairage duration on rabbit welfare and meat quality. *Meat Science*, 82: 71-76.

Mačanga J., Koréneková B., Nagy J., Marcinčák S., Popelka P, Kožárová I., Korének M. 2011. Post-mortem changes in the concentration of lactic acid, phosphates and pH in the muscles of wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) according to the perimortal situation. *Meat Science*, 88: 701-704.

María G., López M., Lafuente R., Mocé M.L. 2001. Evaluation of electrical stunning methods using alternative frequencies in commercial rabbits. *Meat Science*, 57: 139-143.

María G.A., Buil T., Liste G., Villarroel M., Sañudo C., Olleta J.L. 2006. Effects of transport time and season on aspects of rabbit meat quality. *Meat Science*, 72: 773-777.

Martínez-Castillo M.A. 2004. *Cunicultura*. 2da edición. México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Nacional Autónoma de México.

Matics Zs., Szendrő Zs., Odermatt M., Gerencsér Zs., Nagy I., Radnai I., Dalle-Zotte A. 2014. Effect of housing conditions on production, carcass and meat quality traits of growing rabbits. *Meat Science*, 96: 41-46.

McNitt J.I., Patton N.M., Lukefahr S.D., Cheeke P.R. 2000. *Rabbit Production*. 8th edición. Illinois-USA: Interstate Publishers Inc.

Mestre-Prates J.A., Ribeiro A.M.R., Dias-Correia A.A. 2001. Role of cysteine endopeptidases (EC 3.4.22) in rabbit meat tenderisation and some related changes. *Meat Science*, 57: 283-290.

Metzger Sz., Bianchi M., Cavani C., Petracci M., Szabó A., Gyovai M., Biró-Németh E., Radnai I., Szendrő Zs. 2011. Effect of nutritional status of rabbit kits on their productive performance, carcass and meat quality traits. *Livestock Science*, 137: 210-218.

Olmedilla-Alonso B., Jiménez-Colmenero F., Sánchez-Muniz F.J. 2013. Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods. *Meat Science*, 95: 919-930.

Paredi G., Sentandreu M.A., Mozzarelli A., Fadda S., Hollung K., Martinho de Almeida A. 2013. Muscle and Meat: New horizons and applications for proteomics on a farm to fork perspective. *Journal of Proteomics*, 88: 58-82.

Pascual M. & Pla M. 2007. Changes in carcass composition and meat quality when selecting rabbits for growth rate. *Meat Science*, 77: 474-481.

Pla M. 2008. A comparison of the carcass traits and meat quality of conventionally and organically produced rabbits. *Livestock Science*, 115: 1-12.

Pla M., Guerrero L., Guardia D., Oliver M.A., Blasco A. 1998. Carcass characteristics and meat quality of rabbit lines selected for different objectives: I. Between lines comparison. *Livestock Production Science*, 54: 115-123.

Pla M., Hernández P., Blasco A. 1996. Carcass composition and meat characteristics of two rabbit breeds of different degrees of maturity. *Meat Science*, 44: 85-92.

Ramírez J.A., Àngels-Oliver M., Pla M., Guerrero L., Ariño B., Blasco A., Pascual M., Gil M. 2004. Effect of selection for growth rate on biochemical, quality and texture characteristics of meat from rabbits. *Meat Science*, 67: 617- 624.

Ranken M.D. 2003. *Manual de Industrias de la Carne*. Madrid-España: Mundi-Prensa. Pp. 201.

Romans J.R., Costello W.J., Carlson C.W., Greaser M.L., Jones K.W. 2001. *The Meat We Eat*. 14th Edición. Illinois-USA: Interstate Publishers Inc. Pp. 1112.

Scheelje R., Niehaus H., Werner K., Krüger A. 1976. *Conejos para carne. Sistemas de producción intensiva*. 2da. Edición. Zaragoza-España: Editorial Acribia. Pp. 286.

Sorapukdee S., Kongtasorn C., Benjakul S., Visessanguan W. 2013. Influences of muscle composition and structure of pork from different breeds on stability and textural properties of cooked meat emulsion. *Food Chemistry*, 138: 1892-1901.

Tornberg E. 2005. Effects of heat on meat proteins-Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70: 493-508.

Traore S., Aubry L., Gatellier P., Przybylski W., Jaworska D., Kajak-Siemaszko K., Santé-Lhoutellier V. 2012. Higher drip loss is associated with protein oxidation. *Meat Science*, 90: 917-924.

Weiss J., Gibis M., Schuh V., Salminen H. 2010. Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Science*, 86: 196-213.

Youssef M.K. & Barbut S. 2009. Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters. *Meat Science*, 82: 228-233.

Zhang W., Xiao S., Samaraweera H., Joo-Lee E., Ahn D.U. 2010. Improving functional value of meat products. *Meat Science*, 86: 15-31.