



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y
DOCTORADO EN CIENCIAS QUÍMICAS

Estudio para evaluar el efecto de la congelación sobre la reactividad y
conformación de las fracciones proteicas de diferentes músculos de bovino
a través de Calorimetría de Barrido Diferencial

TESIS
PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

Q. A. JUAN CARLOS RAMÍREZ OREJEL

TUTOR:
M en C. María de los Ángeles Valdivia López

México D.F. 2009





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme seguir creciendo profesionalmente dentro de sus instalaciones.

Al Posgrado en Ciencias Químicas por darme la mejor preparación y las herramientas para destacar en el apasionante mundo de la Química.

A la M en C. Ma. Ángeles Valdivia López por sus consejos y su apoyo en la realización de esta investigación.

A los miembros del Jurado por su dedicación e interés mostrados en la revisión del manuscrito.

Al Químico Farmacéutico Biólogo Juventino Ramírez Orejel † porque además de ser mi hermano siempre fue mi amigo y mi ejemplo a seguir en todo tiempo.

A la Profesora Emérita Ángela Sotelo López † por aconsejarme a continuar en la investigación y la docencia.

Este trabajo formó parte del proyecto “Aplicación de tecnologías de procesado mínimo y evaluación de la calidad integral” por lo que agradezco al Programa Transdisciplinario en Investigación y Desarrollo para Facultades y Escuelas dentro del Macroproyecto: Productividad sostenible de los hatos de cría en pastoreo, por los fondos otorgados para el desarrollo experimental.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

El trabajo experimental de este proyecto se realizó en el Laboratorio 322 -323 del Departamento de Alimentos y Biotecnología, Conjunto E de la Facultad de Química de la UNAM.

Con amor, cariño y respeto para quienes
siempre estuvieron detrás de mi apoyándome y
dándome fuerzas para continuar...



INDICE TEMATICO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	5
I.1 Panorama nacional de la producción de carne de bovino	6
I. 2 Regiones productoras de carne de bovino	8
I.2.1 Árida y semiárida	8
I.2.2 Templada	9
I.2.3 Trópico seco	10
I.2.4 Trópico húmedo	11
I. 3 Oferta y demanda de la carne de bovino en México	12
I.3.1 Exportaciones	14
I.3.2 Importaciones	16
I.3.3 Consumo de productos cárnicos de bovino	20
I. 4 Consumo de carne de bovino	21
I.4.1 Consumo Nacional Aparente (CNA)	22
I.4.2 Consumo per cápita	23
CAPITULO II. COMPOSICIÓN DE LA CARNE DE RES	24
II.1 Estructura del músculo esquelético	25
II.2 Proteínas contráctiles	29
II.2.1 Miosina	31
II.2.2 Actina	32



II.2.3 Actomiosina	33
II.2.4 Colágeno	33
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	36
III.1 Análisis composicional	40
III.2 Calorimetría de Barrido Diferencial	40
III.3 Extracción y cuantificación de proteína soluble	42
III.4 Caracterización de los PM de la proteína soluble	42
III.5 Cuantificación de aminas primarias	43
III.6 Cuantificación de grupo sulfhidrilo	43
III.7 Extracción de lípidos por el método de Bligh & Dyer	44
III.8 Análisis cualitativo de radicales libres	45
III.9 Cuantificación de peróxidos	46
III.10 Cuantificación de compuestos carbonílicos por Índice de Kreis	46
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	47
IV.1 Revisión de cortes de mayor consumo en el país	47
IV.1.1 Análisis Químico Proximal	47
IV.1.2 Análisis Térmico	49
IV.2 Seguimiento de los cambios conformacionales de las proteínas y calidad química de los lípidos.	52
IV.2.1 Seguimiento de los cambios de las proteínas a través de (CBD) ...	54
IV.2.1.1 Bola	55
IV.2.1.2 Chambarete	58
IV.2.1.3 Cuete	61
IV.2.1.4 Filete	63
IV.2.1.5 Sirloin	66



IV.2.2 Evaluación de la reactividad de los grupos funcionales	71
IV.2.3 Valoración de la rancidez oxidativa de los lípidos	88
IV.2.3.1 Resonancia Paramagnética Electrónica	90
IV.2.3.2 Índice de Peróxidos	95
IV.2.3.3 Índice de Kreis	97
CONCLUSIONES	102
ANEXOS	104
BIBLIOGRAFIA	115



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción nacional de carne de bovino en México -----	7
Figura 2. Producción nacional de carnes (miles de toneladas) -----	7
Figura 3. Proyección de la demanda de carnes en México -----	13
Figura 4. Exportaciones de ganado bovino para engorda-----	14
Figura 5. Exportaciones de carne de bovino -----	16
Figura 6. Importaciones de pie de cría de bovino -----	17
Figura 7. Importaciones del ganado bovino para abasto -----	18
Figura 8. Importaciones de carne bovina fresca, refrigerada o congelada -----	19
Figura 9. Precios corrientes de corte de carne de bovino al consumidor -----	20
Figura 10. Arquitectura típica de los componentes del músculo -----	26
Figura 11. Representación esquemática de una fibra muscular -----	27
Figura 12. Principales componentes de la fibra muscular -----	30
Figura 13. Representación de las estructuras de miosina y actina antes de la contracción---	32
Figura 14. Diagrama de trabajo experimental. "Revisión y caracterización de los cortes de mayor consumo en México" -----	37
Figura 15. Diagrama de trabajo del seguimiento de los cambios químicos de los macrocomponentes de la carne durante el almacenamiento en congelación-----	39
Figura 16. Pico característico del estándar de indio para la calibración del calorímetro ---	41
Figura 17. Reacción de cuantificación de R-SH con DTNB -----	44
Figura 18.- Termogramas de los diferentes cortes de carne de bovino (A) Cortes con un contenido de lípidos < 10%, (B) Cortes con un contenido de lípidos entre 10-20% y (C) Cortes con un contenido de lípidos > 20% -----	50
Figura 19. Descripción de los cortes de menor precio y de consumo común Chambarete, Bola y Cuete -----	53



Figura 20. Descripción de los cortes de mayor precio Sirloin y Filete	54
Figura 21.- Termogramas del estudio de las proteínas del corte Bola durante su almacenamiento en congelación (-18°C)	57
Figura 22.- Termogramas del estudio de las proteínas del corte Chambarete durante su almacenamiento en congelación (-18°C)	59
Figura 23.- Termogramas del estudio de las proteínas del corte Cuete durante su almacenamiento en congelación (-18°C)	62
Figura 24.- Termogramas del estudio de las proteínas del corte Filete durante su almacenamiento en congelación (-18°C)	65
Figura 25.-Termogramas del estudio de las proteínas del corte Sirloin durante su almacenamiento en congelación (-18°C)	67
Figura 26.- Cinética de primer orden para la disminución en la concentración de grupo amino de los diferentes cortes	73
Figura 27. Oxidación de proteínas y formación de puentes disulfuro	75
Figura 28. Cinética de primer orden para la disminución en la concentración de grupo sulfhidrilo de los diferentes cortes	76
Figura 29. Cinética de primer orden para la disminución en la concentración de proteína soluble de los diferentes cortes	81
Figura 30. Electroforesis desnaturalizante en gel de acrilamida para los diferentes cortes de carne de bovino al t_0	83
Figura 31. Densitometría de las proteínas presentes en los diferentes cortes de carne de bovino al t_0	84
Figura 32. Electroforesis desnaturalizante en gel de acrilamida para los diferentes cortes en estudio al t_{120}	86
Figura 33. Densitometría de las proteínas presentes en los diferentes cortes de carne de bovino al t_{120}	87
Figura 34. Espectros de Resonancia Paramagnética Electrónica de los diferentes cortes de carne de res al t_0	92
Figura 35. Espectros de Resonancia Paramagnética Electrónica de los diferentes cortes de carne de res a t_{60}	93



Figura 36. Espectros de Resonancia Paramagnética Electrónica de los diferentes cortes de carne de res a t_{120}	95
Figura 37. Concentración de peróxidos en la grasa de los diferentes cortes de carne de res durante su almacenamiento en congelación	111
Figura 38. Estudio de la oxidación de lípidos de los diferente cortes de carne de res durante su almacenamiento en congelación	112



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Países con los mayores inventarios de ganado bovino y su producción de carne en canal -----	5
Tabla 2. Posición de México en la producción pecuaria mundial -----	6
Tabla 3. Inventario, producción en pie y en canal de carne de bovino por región -----	8
Tabla 4. Proyección de la oferta nacional -----	13
Tabla 5. Comportamiento de las exportaciones de animales vivos y fracciones de origen bovino para el periodo 1993-2002 -----	15
Tabla 6. Comportamiento de las importaciones de animales vivos y fracciones de origen bovino para el periodo 1993-2002 -----	19
Tabla 7. Consumo nacional aparente de carne de bovino e índice de dependencia -----	22
Tabla 8. Estimación de la disponibilidad per cápita 1990-2005 de carne de bovino (kilogramos/habitante/año) -----	23
Tabla 9. Análisis composicional de diferentes cortes de carne de bovino -----	48
Tabla 10. Estudio de los cambios del valor de ΔH (J/g carne) de la miosina de carne de diferentes carne de bovino -----	69
Tabla 11. Estudio de los cambios del valor de ΔH (J/g carne) de las proteínas sarcoplásmicas y colágeno de diferentes cortes de carne de bovino -----	70
Tabla 12. Estudio de los cambios en el valor de ΔH (J/g carne) la actina de diferentes cortes de carne de bovino durante la congelación -----	71
Tabla 13. Resultados de la cinética de primer orden para la disminución en la concentración de grupo amino de los diferentes cortes -----	74
Tabla 14. Resultados de la cinética de primer orden para la disminución en la concentración de grupo sulfhidrilo de los diferentes cortes -----	77
Tabla 15. Resultados de la cinética de primer orden para la disminución en la concentración de proteína soluble de los diferentes cortes -----	82
Tabla 16. Pesos moleculares de las proteínas presentes en los diferentes cortes de bovino al t_0 -----	85



Tabla 17. Pesos moleculares de las proteínas presentes en los diferentes cortes de bovino al t ₁₂₀ -----	88
Tabla 18. Resultados de la determinación de Índice de peróxidos (meq/kg grasa) en los diferentes cortes de carne de res almacenados en congelación -----	96
Tabla 19. Resultados de la determinación de Índice de Kreis (absorbancia 540 nm /g grasa) en los diferentes cortes de carne de res almacenados en congelación -----	98
Tabla 20. Correlaciones de Pearson para los diferentes parámetros determinados en los distintos cortes de carne de res -----	99
Tabla 21. Calorimetría de Barrido Diferencial (25 - 100°C) para cortes con un contenido de lípidos < 10 % -----	104
Tabla 22. Calorimetría de Barrido Diferencial (25 - 100°C) para cortes con un contenido de lípidos entre 10-20% -----	105
Tabla 23. Calorimetría de Barrido Diferencial (25 - 100°C) para cortes con un contenido de lípidos > 20% -----	106
Tabla 24. Resultados del seguimiento de la concentración de grupo amino de los diferentes cortes de carne de res -----	107
Tabla 25. Resultados del seguimiento de la concentración de grupo sulfhidrilo de los diferentes cortes de carne de res -----	108
Tabla 26. Resultados del seguimiento de la concentración de proteína soluble de los diferentes cortes de carne de res -----	109
Tabla 27. Resultados de la cinética de primer orden de los parámetros de reactividad de proteínas en los diferentes cortes -----	110
Tabla 28. Resultados de la determinación de Índice de peróxidos (meq/kg grasa) en los diferentes cortes de carne de res almacenados en congelación -----	111
Tabla 29. Resultados de la determinación de Índice de Kreis (absorbancia 540nm /g grasa) en los diferentes cortes de carne de res almacenados en congelación -----	112
Tabla 30. Correlación de Pearson para los diferentes parámetros determinados en el corte de res Bola -----	113
Tabla 31. Correlación de Pearson para los diferentes parámetros determinados en el corte de res Chambarete-----	113



Tabla 32. Correlación de Pearson para los diferentes parámetros determinados en el corte de res Cuete -----	113
Tabla 33. Correlación de Pearson para los diferentes parámetros determinados en el corte de res Filete-----	114
Tabla 34. Correlación de Pearson para los diferentes parámetros determinados en el corte de res Sirloin-----	114



RESUMEN

La congelación es uno de los métodos más utilizados para alargar la vida de anaquel de los alimentos, desafortunadamente provoca daños en los alimentos tales como pérdidas de nutrimentos, cambios en las características sensoriales y fisicoquímicas. En el presente trabajo se realizó un seguimiento de los principales cambios que sufre la carne de bovino durante su almacenamiento en congelación. El objetivo del proyecto fue establecer la reactividad de los principales macrocomponentes de la carne, para conocer el efecto de este método de conservación sobre la integridad química de proteínas y lípidos. Se almacenaron en congelación cinco diferentes cortes (Bola, Chambarete, Cuete, Filete y Sirloin) durante cuatro meses, en este tiempo se dio seguimiento a la reactividad de los grupos funcionales de proteínas y lípidos, lo que permitió establecer la cinética de deterioro de estos componentes, además se evaluó el efecto de la congelación sobre la desnaturalización de las proteínas mediante Calorimetría de Barrido Diferencial. Se observó una disminución de los principales grupos reactivos de las proteínas. Los grupos amino reaccionaron con los aldehídos y cetonas provenientes de la oxidación de los lípidos, los grupos sulfhidrilo reaccionaron entre sí para formar puentes disulfuro provocando reacciones de entrecruzamiento dando como resultado cambios en las estructuras proteicas y finalmente una disminución de la solubilidad de las proteínas. Se puede concluir que hay cortes con mayor resistencia que pueden ser almacenados en congelación mientras que otros son más sensibles a este método de conservación y es necesario utilizar otros métodos que causen menor daño.



INTRODUCCIÓN

La ganadería productora de carne bovina es la actividad productiva más difundida en el medio rural, se realiza en todas las regiones agroecológicas del país. Se estima que la ganadería se desarrolla en aproximadamente 110 millones de hectáreas, lo cual representa aproximadamente 60% de la superficie del territorio nacional. Los sistemas de producción van desde los más altamente tecnificados e integrados hasta los tradicionales (SAGARPA 2009).

En términos generales, la totalidad de la producción nacional se destina al abasto interno, para un mercado demandante de cortes populares tipo español. Además, existe un segmento limitado de consumidores exclusivos que son demandantes de productos cuya especificidad no siempre puede cubrirse con la producción nacional, por lo que frecuentemente se complementa con productos de los Estados Unidos de América. Los principales productos de carne bovina que México importa son animales para abasto, carne en canal, cortes deshuesados y cortes sin deshuesar frescos, refrigerados o congelados.

En algunas ocasiones la cadena de frío no se mantiene hasta su destino y ello provoca grandes pérdidas económicas, porque el proceso de congelación y descongelación deteriora la calidad de la carne, por lo que es necesario implementar nuevos métodos que permitan alargar su vida de anaquel, sin sacrificar sus características físicas y sensoriales así como su valor nutricional.



El avance de la tecnología en los últimos años ha dado origen a nuevas técnicas en la conservación de alimentos, algunas de ellas son: irradiación, campos magnéticos oscilatorios, pulsos eléctricos, microondas y altas presiones isoestáticas, tales métodos permiten conservar los alimentos por mayor tiempo, sin causar pérdidas en los nutrimentos y cambios en las características sensoriales.

El uso de las Altas Presiones Hidrostáticas como método de conservación de alimentos ofrece numerosas ventajas respecto a los métodos convencionales; permite la inactivación de enzimas y formas vegetativas de microorganismos sin alterar el sabor, color y valor nutricional. Por otro lado, también se utiliza para provocar cambios favorables en la textura de los alimentos y dentro de los métodos emergentes, es uno de lo que ha tenido mayor aceptación por parte del consumidor.

En el presente trabajo se evaluaron los cambios y la reactividad que sufre la carne cuando es almacenada en congelación, los resultados obtenidos en este estudio serán el punto de referencia de estudios posteriores en los cuales se utilice la Alta Presión Hidrostática como método de conservación.



OBJETIVOS

General

- Evaluar la reactividad de los principales macrocomponentes de la carne de bovino durante su almacenamiento en congelación (-18°C), para conocer el efecto de este método de conservación sobre la integridad química de proteínas y lípidos.

Particulares

- Seguir los cambios conformacionales de las proteínas de diferentes cortes de carne de bovino, a través de Calorimetría de Barrido Diferencial para evaluar el grado de desnaturalización que sufren las proteínas durante el almacenamiento en congelación.
- Establecer la cinética de reacción de los principales grupos reactivos de las proteínas (amino y sulfhidrilo) para determinar el efecto de esta reactividad sobre la solubilidad de las proteínas y explicar los cambios conformacionales que ocurren durante la congelación.
- Determinar la calidad química de los lípidos mediante el seguimiento de la reactividad de deterioro oxidativo, para explicar las principales reacciones que ocurren entre los productos secundarios de la oxidación y los grupos reactivos de las proteínas.



CAPÍTULO I

PANORAMA MUNDIAL DE LA PRODUCCIÓN DE CARNE DE BOVINO

En la década de los 90 los principales países productores de carne en el mundo fueron: China, Estados Unidos, Brasil, Rusia, Francia, Italia, India, España, Reino Unido y Argentina, los cuales aportaron aproximadamente 61% de la producción mundial de carne. En 2002 en el mundo se produjeron 57.88 millones de ton de carne bovina, los países con los mayores volúmenes de producción son aquellos con los mayores inventarios. De acuerdo con información de la FAO (2009), el inventario mundial total de bovinos para 2002 fue de 1.366 millones de cabezas, algunos datos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Países con los mayores inventarios de ganado bovino y su producción de carne en canal

País	Inventario (millones de cabezas)	Producción de carne de bovino (millones de toneladas)
India	221.9	1.5
Brasil	176.0	7.1
China	106.2	5.3
Estados Unidos	96.7	12.4
Unión Europea	80.8	7.5
Argentina	50.7	2.7
México	30.6	1.4
Australia	30.5	2.0
Federación Rusa	27.1	1.9
Colombia	27.0	0.8

Fuente: FAO, 2009



I. 1 Panorama nacional de la producción de carne de bovino

La ganadería bovina para carne en el país se desarrolla en muy diversas condiciones agroecológicas, influenciadas principalmente por factores climáticos. Esta variación no permite que la ganadería sea homogénea, en términos generales, las condiciones bajo las que se desarrolla la ganadería mexicana son extensivas, aunque existe la finalización en corral de engorda, ésta se realiza de manera limitada por los altos costos de alimentación. Aproximadamente 35% de la producción nacional de carne de bovino procede de corrales de engorda.

La mayoría del ganado producido en México se finaliza en pastoreo. Como resultado de las condiciones económicas, muchos ganaderos y engordadores no pueden adquirir ingredientes importados además de que la modernización e implantación de tecnologías de producción modernas es limitada en el país (USDA, 2009). Aproximadamente 60% de la carne producida en el país se comercializa en forma de canal caliente (Ver Tabla 2), lo que afecta la calidad y la inocuidad para el consumidor.

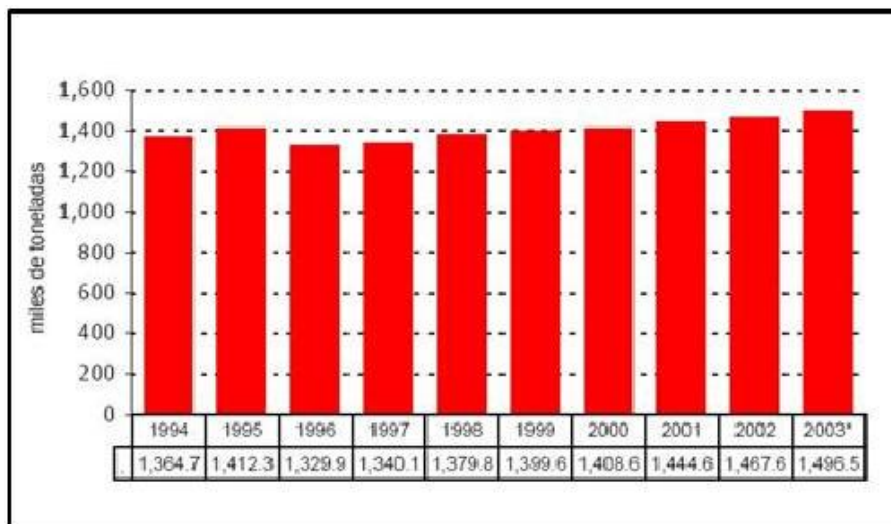
**Tabla 2. Posición de México en la producción pecuaria mundial
(millones de toneladas)**

Ganado	Producción mundial	Producción de México	Lugar que ocupa México
Bovino	60.40	1.50	7
Cerdos	102.50	1.10	17
Pollo	70.00	2.20	4
Ovino	8.40	0.04	33
Caprino	4.50	0.04	13
Equino	0.72	0.08	2

Fuente: USDA, 2009

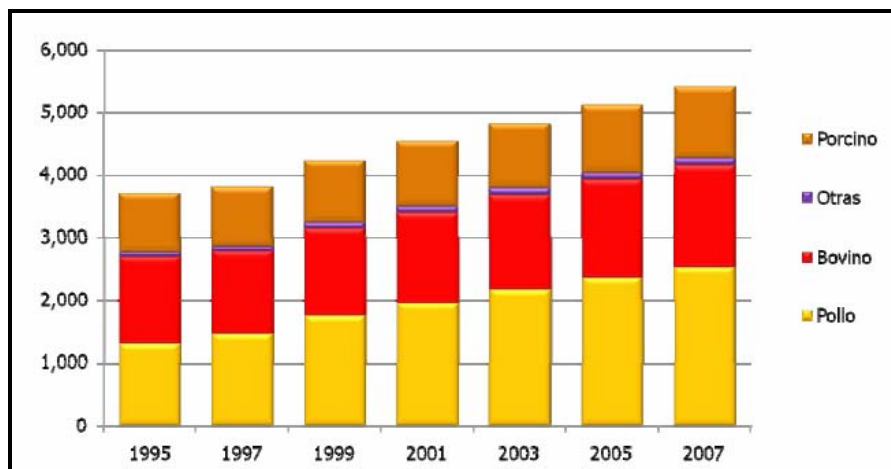


La producción de carne de bovino en términos generales ha experimentado un crecimiento continuo en los últimos diez años; sin embargo, esta expansión ha sido mínima en contraste con otras especies como el caso de las aves (Ver Figuras 1 y 2).



Fuente: SIAP - SAGARPA, 2009

Figura 1. Producción nacional de carne de bovino en México



Fuente: SIAP - SAGARPA, 2009

Figura 2. Producción nacional de carnes (miles de toneladas)



I.2 Regiones productoras de carne de bovino

El país se divide en cuatro regiones ganaderas de acuerdo con sus condiciones climatológicas y por sus sistemas de producción: 1) árida y semiárida, 2) templada, 3) tropical seca, y 4) tropical húmeda. Los inventarios y producción de carne en pie y canal para estas regiones se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Inventario, producción en pie y en canal de carne de bovino por región

Región	Inventario	Producción (toneladas)	
		En pie	En canal
Árida y semiárida	6,223.672	736.306	401.466
Templada	4,872.245	728.434	365.592
Trópico seco	8,143.458	509.623	267.035
Trópico húmedo	9, 241.428	772.554	410. 28
Total	28,480.803	2,746.917	1,444.621

Fuente: SAGARPA, 2009

I.2.1 Zona árida y semiárida

Esta región comprende Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí, cuenta con 21.9% del inventario nacional, participa con 26.8 y 27.8% de la producción de carne en pie y canal (SAGARPA, 2003). Se considera como la de mayor desarrollo tecnológico para la ganadería bovina de carne. Las razas que se explotan en esta región son principalmente razas europeas (*Bos taurus*) y cruzas entre ellas.



Los sistemas de producción predominantes son: vaca-becerro y engorda en corral. La cantidad de precipitación es baja y su distribución en el año muy errática con tendencia a concentrarse de julio a septiembre. La complementación con vitaminas y minerales en animales en pastoreo es relativamente común así como el uso de promotores de crecimiento y de modificadores de la fermentación ruminal en los corrales de engorda.

La región históricamente exporta becerros al destete a los Estados Unidos para su finalización en corral de engorda, aquellos que no se exportan se envían a corrales de engorda de la región o del centro del país. En 2001 de esta región se exportaron más de un millón de becerros y vaquillas a Estados Unidos, que representaron 99% de las exportaciones mexicanas de animales en pie para este año (SAGARPA, 2009).

En la comercialización de los becerros se atienden principalmente las condiciones de compra de los importadores estadounidenses. Cuando la demanda se contrae, la permanencia obligada de los becerros en las unidades de producción se asocia con un deterioro de los potreros y una baja en los precios del becerro para la engorda en el país

I.2.2 Zona Templada

Esta zona incluye Aguascalientes, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala. Es la más eficiente ya que contando con 17.10% del inventario nacional, participa con 26.51 y 25.30% de la producción nacional de carne de bovino en pie y en canal. Los genotipos existentes en esta región son razas europeas (*Bos taurus*).



Los sistemas de producción predominantes son vaca-becerro y de manera limitada la engorda en corral. Las explotaciones que tienen el sistema vaca-becerro son extensivas, basadas en el pastoreo de potreros con especies nativas en la época lluviosa y el suministro de esquilmos agrícolas en la época seca (SAGARPA, 2009).

Los becerros al destete se destinan a la engorda en corral para abasto del mercado nacional principalmente. La engorda en corral se realiza mayormente en explotaciones de tamaño mediano a pequeño. Los sistemas de alimentación se basan en el uso de ingredientes de baja calidad nutricional y raciones no muy bien balanceadas que se traducen en ganancias diarias de peso bajas. El ganado engordado se comercializa en la región y contribuye al abasto de la ciudad de México y su zona aledaña.

I.2.3 Zona del trópico seco

Esta región comprende Colima, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa y Tamaulipas. Desde el punto de vista productivo, es la región más ineficiente ya que contando con 28.59% del inventario nacional en 2001, participó con 18.55 y 18.48% de la producción de carne en pie y en canal. El hato promedio obtenido de un muestreo de empresas ubicadas en esta región fue 117 vacas, con asignación de 0.36 ha por vaca, 55% de destete, 65 kg de carne producida por ha y 162 kg por vaca. El sistema vaca-becerro con ordeña durante la época de lluvias, constituye el sistema de doble propósito (SAGARPA 2009). Los genotipos que se explotan son cruzados, las vacas de origen cebú (*Bos indicus*) con adaptación al trópico se inseminan natural o artificialmente con semen de Suizo Pardo, Simmental y Holstein.



Los parámetros productivos y reproductivos son factibles de mejorar, se destetan de 55 a 60 becerros por cada 100 vacas en el hato, con pesos al destete que varían de 180 a 190 kg. La producción se dedica para el abasto regional y nacional.

I. 2.4 Zonal del Trópico húmedo

Esta zona incluye Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Veracruz, Tabasco y Yucatán. Es la región con el mayor inventario del país (32.44%), su producción representa 28.12 y 28.41% de la producción nacional de carne bovina en pie y en canal. En 1999 SAGARPA encontró en un muestreo realizado en esta región que el tamaño de empresa fue 91 vacas, una asignación de 0.52 vacas por ha, 57% de tasa de destete, 157 kg de carne producidos por ha y 254 kg por vaca.

La región se caracteriza por su abundante producción de forrajes, que aunque de menor calidad nutricional que los forrajes templados, generalmente supera durante todo el año la capacidad de consumo de los animales. Las razas que se explotan en esta región son *Bos indicus*, existen también animales cruzados utilizándose para producirlos madres de esta especie y sementales de razas *Bos taurus*. Algunas razas sintéticas también se utilizan en algunas explotaciones.

Los becerros que se producen en la región se engordan en corrales de engorda en la zona templada del país o en pastoreo en la misma región, aunque esta es una actividad que día con día pierde importancia, ya que el introductor y tablajero al preferir carne de animales finalizados en corral por su mayor rendimiento en canal, está influyendo en el cambio del consumidor hacia este tipo de carne.



La engorda en pastoreo se realiza en potreros con abundantes forrajes, aunque con limitaciones de algunos nutrientes (proteína, minerales y energía); como consecuencia existen algunas prácticas de complementación alimenticia, especialmente en la época de escasez de forraje y hacia el final de la engorda (SAGARPA, 2009).

En el sistema de doble propósito la venta de becerros al destete y de leche diaria constituyen los ingresos principales. Los becerros reciben mayor o menor cantidad de leche de sus madres dependiendo de los precios de compra de la leche; cuando estos son atractivos, el ordeño se hace más completo. La venta de leche representa mayor liquidez a las empresas de doble propósito.

I.3 Oferta y demanda de la carne de bovino en México

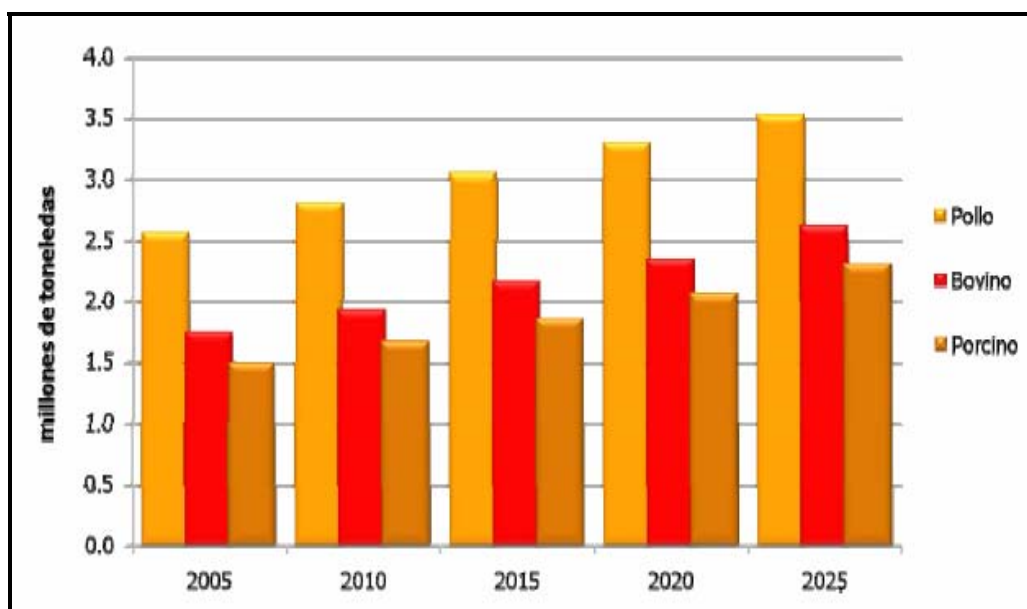
Como resultado de una adecuada satisfacción de la demanda de carne bovina y precios relativamente estables, el consumo tiende a incrementarse. La mayoría de este incremento es en mercados regionales del norte de México donde las condiciones de sequía de años anteriores han obligado a los ganaderos a enviar parte de sus animales al sacrificio. En la Tabla 4 y en la Figura 3 se observa que la proyección de oferta nacional y consumo de carne de res continuarán incrementándose debido a la creciente demanda del consumidor por proteína animal y el incremento general de la población.



Tabla 4. Proyección de la oferta nacional

Producto	Volumen de producción (millones de toneladas)			Crecimiento acumulado	
	2006	2012		2006 -2012 (%)	
		Más probable	Optimista	Más probable	Optimista
Carnes	6.09	7.31	7.66	20.03	25.8
Bovinos	1.60	1.78	1.83	10.8	13.8
Cerdos	1.50	1.24	1.28	12.0	15.0
Pollo	2.50	3.26	3.45	27.0	33.0
Ovinos	0.47	0.58	0.63	21.0	30.0
Caprinos	0.42	0.45	0.47	6.0	12.0

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2009



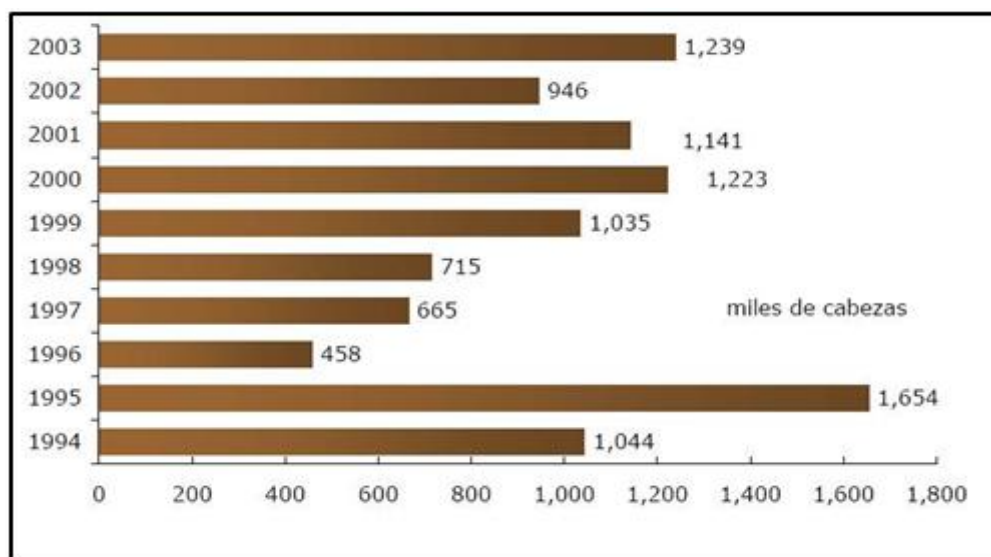
Fuente: SIAP - SAGARPA, 2009

Figura 3. Proyección de la demanda de carnes en México



I.3.1 Exportaciones

Los procesos de exportación de la ganadería bovina se dividen en dos grupos, el primero conformado por las ventas de ganado para su engorda en el exterior, se mantiene como la principal fuente de divisas del sector ganadero y con fuerte tradición, y el segundo, por una aún mínima exportación de carne. En la Figura 4 se observa que en los últimos años no se determina una tendencia franca en las ventas al ganado exterior, en el año 1995 alcanzó el record histórico de con 1, 654 cabezas de becerro, mientras que en el 2003 la cifra fue de 1, 239.



Fuente: SIAP - SAGARPA, 2009

Figura 4. Exportaciones de ganado bovino para engorda



El producto más importante de exportación son los becerros para la engorda en corral en los Estados Unidos. Los principales estados exportadores son Chihuahua, Sonora, Durango y Coahuila. Por otro lado los volúmenes de exportación de carne bovina y sus productos correspondientes al período 1993-2002 indican grandes aumentos (Tabla 5), las cantidades que México exporta son limitadas en comparación con las cantidades que importa de las mismas fracciones arancelarias.

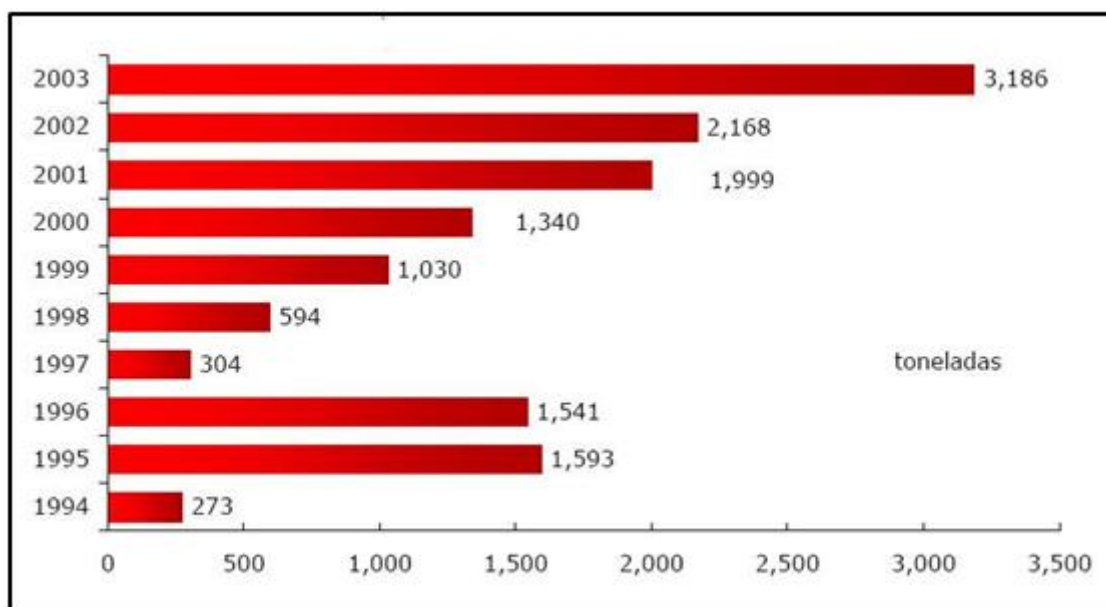
En relación a la venta de carne en diferentes presentaciones, se mantienen en niveles bajos y centrados en productos de alta calidad. En la Figura 5 se observa el comportamiento de los últimos años.

Tabla 5. Comportamiento de las exportaciones de animales vivos y fracciones de origen bovino para el periodo 1993-2002.

Fracción	Exportaciones (ton) 1993	Exportaciones (ton) 2002	TCMA (%)	Incremento en el periodo (%)
Animales vivos	1, 383.237	947.914	-1.7	-31
Carne fresca, refrigerada y congelada	1533	2684	6.7	75
Despojos comestibles frescos, refrigerados y congelados	637	180	8.9	-72
Carne y despojos comestibles, salados o en salmuera, secos o ahumados	1	28	3827	2700
Semen y embriones	30	74	13	146
Grasa de animales de las especies bovina, ovina o caprina	516	151	3	71
Preparaciones y conservas de carne	79	4710	203	5862

TCMA: Tasa Media de Crecimiento Acumulable

Fuente: Secretaría de Economía, 2009



Fuente: Secretaría de Economía, 2009

Figura 5. Exportaciones de carne de bovino

En 2002, México exportó 947,914 animales en pie, de los cuales 947,314 (99.9%) se enviaron a Estados Unidos, el resto se destinó a Belice, Costa Rica y otros países no especificados. Aproximadamente 70% de las exportaciones de ganado en pie se quedan en Texas para su engorda. De las 2,684 toneladas de carne y productos bovinos, que el país exportó en el 2002, 82.5% se enviaron a los Estados Unidos, el resto a Puerto Rico.

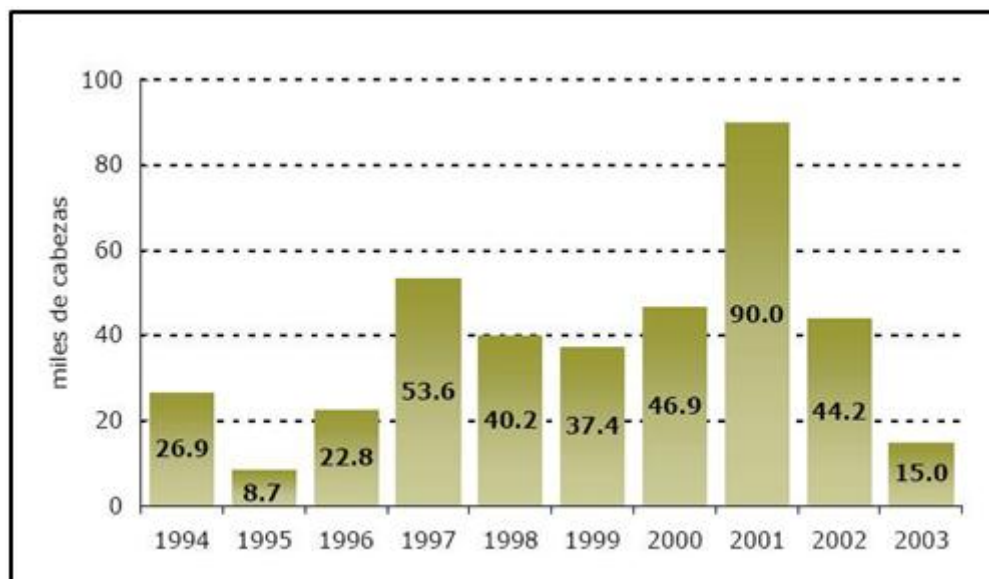
I.3.2 Importaciones

Las importaciones de carne bovina y sus productos se han incrementado a un ritmo acelerado, especialmente después de la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio



de América del Norte (TLCAN), por lo que no se espera que este comportamiento cambie en los próximos años.

Las compras de pie de cría en el mercado exterior no muestran una tendencia específica, se han manifestado crecimientos y depresiones a lo largo de los últimos años. Por ejemplo en 2001 se alcanzó un máximo mientras que dos años después se presentó una baja de más de 60% (Ver Figura 6).



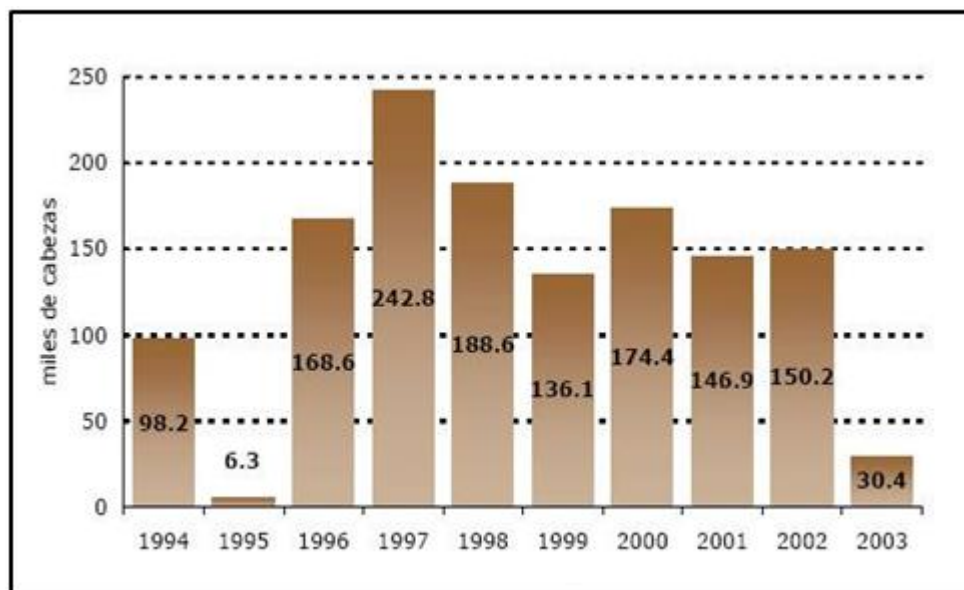
Fuente: Secretaría de Economía, 2009

Figura 6. Importaciones de pie de cría de bovino

La inexistencia de una tendencia de importación también se ve reflejada en el ganado destinado al abasto (Ver Figura 7), aun que se puede calificar hacia la baja desde 1997. Esta condición puede estar mejor soportada en una mejor opción de importar cortes de



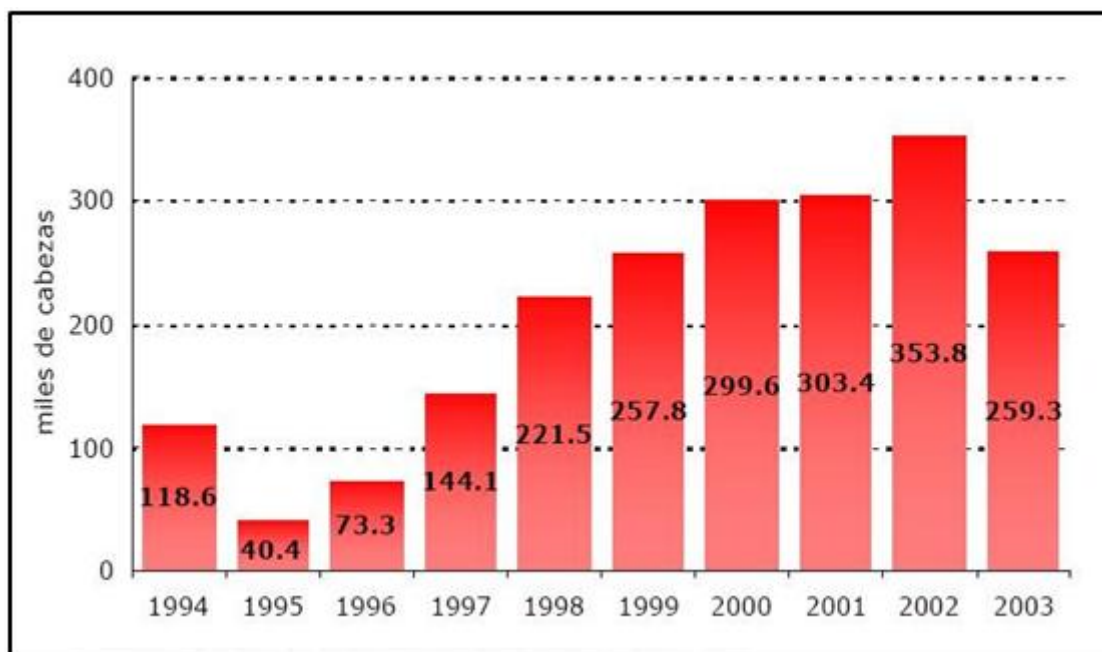
carne específicos, que por registrar excedentes el mercado norteamericano, se cotizan a precios atractivos para su colocación en el mercado mexicano.



Fuente: Secretaría de Economía, 2009

Figura 7. Importaciones del ganado bovino para abasto

Los volúmenes importados de todas las fracciones arancelarias, incluyendo las carnes fresca, refrigerada y congelada han aumentado a un ritmo acelerado en el período de vigencia del TLCAN. De 1993 a 2002 han aumentado en 277.1% el volumen de carne fresca, refrigerada y congelada (ver Figura 8 y Tabla 6).



Fuente: Secretaría de Economía, 2009

Figura 8. Importaciones de carne bovina fresca, refrigerada o congelada

Tabla 6. Comportamiento de las importaciones de animales vivos y fracciones de origen bovino para el periodo 1993-2002 (Datos calculados con base en la suma del definitivo).

Fracción	Exportaciones 1993	Exportaciones 2002	TMCA (%)	Incremento en el periodo (%)
Animales vivos	93,133	205,917	17	121
Carne fresca, refrigerada y congelada	93,792	353,692	36	277
Despojos comestibles frescos, refrigerados y congelados	62,180	82,397	5	32
Carne y despojos comestibles, salados o en salmuera, secos o ahumados	41	660	175	1,510
Semen y embriones	18	686	398	3,711
Grasa de animales de las especies bovina, ovina o caprina	199,453	337,070	7	69
Preparaciones y conservas de carne	2,240	2,895	2	29

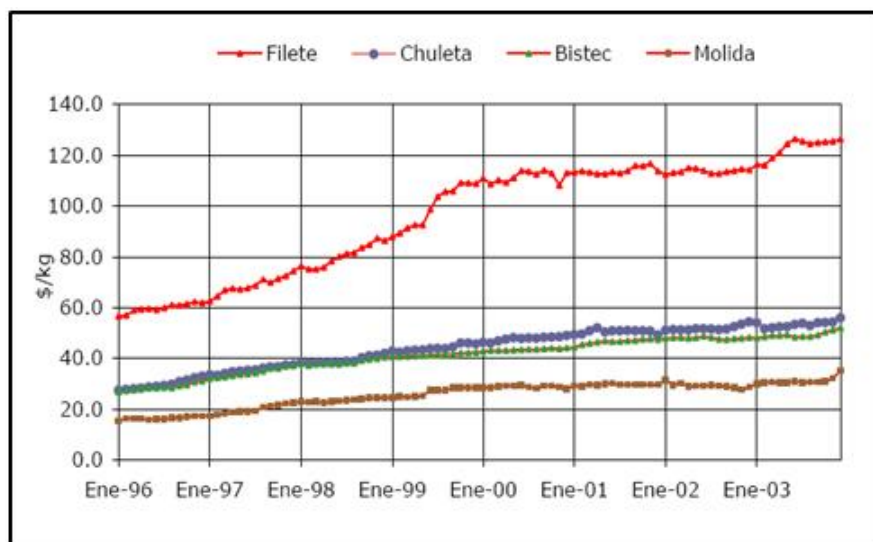
TCMA: Tasa Media de Crecimiento Acumulable

Fuente: Secretaría de Economía, 2009



I.3.3 Consumo de productos cárnicos de bovino

Las perspectivas son hacia el incremento en los volúmenes de venta de carne de res, debido a la creciente demanda de la población, la preferencia por proteína animal, el rápido crecimiento de las cadenas de tiendas de supermercados, tiendas de comida rápida y el sector turístico. De acuerdo con una encuesta citada por SAGARPA, del total de hogares que gastan una parte de sus ingresos en la compra de carnes en general, cerca de 72% destina una parte de su gasto a la compra de carne de res y ternera, observándose la tendencia mayor ingreso-mayor gasto. Los cortes más comprados son el bistec y milanesa, seguidos por la pulpa, trozo y molida. Los cortes a los que se les destina menor cantidad de gasto incluyen lomo, filete, chuleta, costilla, cortes especiales y otras partes de res y ternera debido a su alto costo (Ver Figura 9).



Fuente: Secretaría de Economía, 2009

Figura 9. Precios corrientes de corte de carne de bovino al consumidor



I.4 Consumo de carne de bovino

La cadena productiva está generalmente desarticulada, la distribución de carne de origen nacional (ya sea en medias canales o cortes primarios) se efectúa principalmente por tablajeros que adquieren su mercancía en rastros municipales (o en rastros clandestinos) o, en menor proporción, a través de las cadenas de tiendas de autoservicio que son abastecidas por plantas Tipo Inspección Federal (TIF). Por consiguiente, los beneficios económicos generados por la cadena de producción de carne de bovino se distribuyen entre los distintos eslabones de la cadena de comercialización (en ocasiones comprendiendo un mínimo de tres agentes intermediarios).

En el caso de las importaciones de carne, éstas se distribuyen a través de las cadenas de tiendas de autoservicio, así como a través de las cadenas de restaurantes de lujo, para un mercado exclusivo (al cual vende cortes caros) o del tipo popular (en el caso de los cortes baratos y los despojos comestibles). Los productos importados están ocupando mercados que tradicionalmente eran abastecidos por la producción nacional, particularmente por su menor precio.

Los volúmenes de carne distribuidos y vendidos al consumidor final a través de las tiendas de autoservicio son cada vez mayores, especialmente en las grandes ciudades. Existe un diferencial de precio entre la carne comercializada en las tiendas de autoservicio y las carnicerías, generalmente el precio es menor en las carnicerías especialmente en los cortes populares (Cavallotti & Palacio, 1999).



I.4.1 Consumo Nacional Aparente (CNA)

De acuerdo con estadísticas de la Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas, el CNA se incrementó de 1.023 en 1993 a 1.32 millones de ton en 2002, un aumento del 29% (Ver Tabla 7). Sin embargo, este crecimiento incluye una proporción cada vez mayor de la carne de importación, ya que para el mismo período la producción de carne de res pasó de 885 a 814 mil toneladas, que corresponden a una reducción de 8%. La diferencia entre los volúmenes producido y consumido se ha cubierto con importaciones.

Tabla 7. Consumo nacional aparente de carne de bovino e índice de dependencia

Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Consumo ¹	1,023	1,073	1,083	1,096	1,100	1,198	1,256	1,282	1,329	1,320
Producción ¹	885	897	1031	964	857	865	885	846	889	814
Importación ¹	138	177	55	133	243	334	372	438	442	508
Exportación ¹	1	0	2	2	0	1	1	1	2	2
Consumo per cápita ²	11.8	12.1	11.9	12	12	12.6	13	13.2	13.4	13.1
Índice de dependencia	13.5	16.5	5	12.2	12.2	27.9	29.6	34.2	33.3	38.5

Fuente: Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas, 2003

1 Miles de toneladas

2 En kg



I.4.2 Consumo per cápita

Según información de la Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas, 2003, el consumo per cápita de carne de bovino se ha mantenido relativamente constante de 1993 a 2002 (Ver Tabla 8). En 1993 el consumo per cápita de carne bovina fue 13.4 kg, mientras que para 2002 fue de 16.9 kg. Aunque la oferta nacional de carne de res se ha reducido, el aumento en las importaciones ha permitido el mantenimiento de los niveles de consumo por persona de carne bovina.

**Tabla 8. Estimación de la disponibilidad per cápita 1990-2005
carne de bovino (kilogramos/habitante/año)**

Año	Bovino	Porcino	Ave	Ovino	Caprino	Pavo	Total
1990	11.8	10.8	9.0	0.5	0.4	0.3	32.9
1991	13.8	11.6	10.3	0.7	0.5	0.5	37.4
1992	14.8	11.6	10.9	0.7	0.5	0.8	39.3
1993	13.4	11.3	12.5	0.7	0.5	0.9	39.2
1994	15.0	12.3	13.3	0.8	0.4	0.9	42.7
1995	13.5	11.5	14.7	0.5	0.4	0.9	41.6
1996	14.4	11.3	14.4	0.5	0.4	1.1	42.2
1997	15.0	11.6	16.4	0.6	0.4	1.2	45.2
1998	15.8	12.3	18.1	0.7	0.4	1.3	48.5
1999	15.7	12.6	19.2	0.7	0.4	1.3	50.0
2000	15.9	13.4	20.2	0.9	0.4	1.3	52.0
2001	16.2	13.7	21.3	0.9	0.4	1.4	53.9
2002	16.9	14.1	22.1	0.9	0.4	1.2	55.6
2003	15.6	14.4	23.6	0.8	0.4	1.5	56.3
2004	15.3	15.6	24.6	1.0	0.4	1.5	58.5
2005	15.5	15.3	26.3	0.8	0.4	1.9	60.2

Fuente: SAGARPA, 2009



CAPÍTULO II

COMPOSICIÓN DE LA CARNE DE RES

El término carne, se refiere a la fibra muscular, principalmente de mamíferos, que después de la muerte del animal sufre cambios físicos y bioquímicos "*post mortem*", la transformación del músculo en carne involucra una serie de modificaciones fisicoquímicas en el tejido muscular, las cuales dan lugar a un producto que estará en condiciones de consumo humano.

Los componentes mayoritarios en la carne son, agua proteínas y lípidos, la proporción de cada uno de ellos está en función de la actividad desarrollada por el músculo que provenga, así también en menor proporción se encuentran los carbohidratos (glucógeno) y los minerales (hierro, zinc, magnesio, potasio y sodio). El contenido de agua representa entre 68 a 80% del peso de la carne, la cual se encuentra en mayor proporción formando parte del interior de las células (miofibrillas) como principal constituyente del sarcoplasma.

Por otra parte, las proteínas son el componente más importante de la fracción comestible de la carne, representan del 19-23% del peso de la misma y son consideradas de gran valor nutricional por contener todos los aminoácidos esenciales para el hombre, además de presentar una digestibilidad superior a 95% (Fenema, 1993).

La composición de la carne varía considerablemente entre las diferentes especies y cortes existentes, siendo la principal fuente de variación el contenido de lípidos que depende entre otros factores del consumo y tipo de alimento ingerido por el animal.



La grasa de la carne se encuentra constituida por triglicéridos, fosfolípidos, colesterol y algunas vitaminas liposolubles. Esta porción es de gran importancia para el consumidor ya que contribuye al sabor y aroma de los cortes, así como a la textura, sin embargo cantidades excesivas disminuyen la porción magra sin mejorar la calidad sensorial. En la actualidad existe una marcada tendencia en reducir la ingesta de calorías aportadas por los lípidos, por lo que el contenido de grasa en las cortes adquiridos por los consumidores tiende a ser baja.

En el tejido muscular, el tejido adiposo se encuentra localizado fuera de los haces musculares primarios de manera subcutánea, mientras que los lípidos situados en el área endomisal se encuentran asociados con estructuras celulares como la pared celular, mitocondrias y microsomas, existe otra fracción que se encuentra en forma de gotitas de grasa muy finas distribuidas en la fibra muscular, estas son responsables del marmoleo de la carne, por lo que la composición lipídica de la carne puede dividirse en lípidos del tejido muscular y lípidos del tejido adiposo (Fenema, 1993).

II.1 Estructura del músculo esquelético

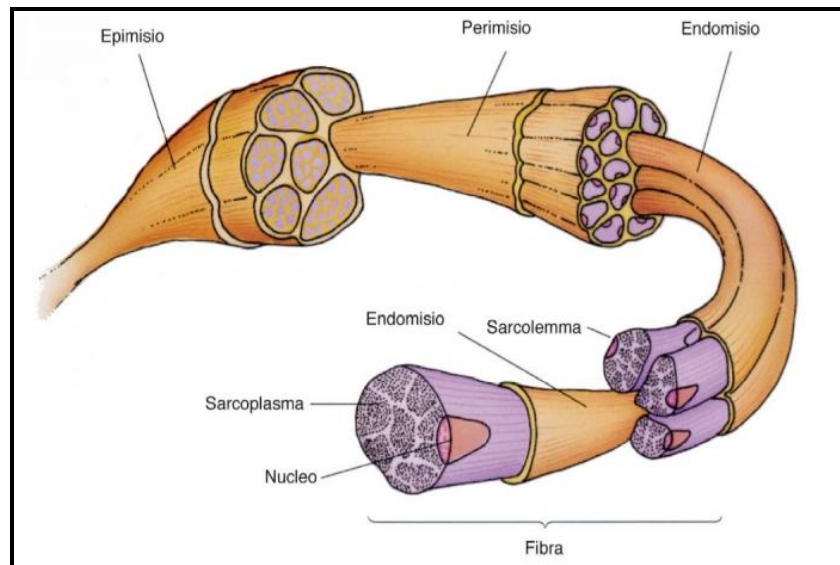
El músculo esquelético está formado por células largas, multinucleadas que miden varios centímetros de longitud y de 10 a 100 μm de diámetro. A pesar de que existen diferencias entre las fibras del músculo en relación con la cantidad de sarcoplasma y localización de los componentes de la membrana celular, existe a nivel celular una estrecha semejanza de los músculos esqueléticos de una gran variedad de organismos.



Existen ligeras diferencias en la arquitectura de las células musculares y tejido conjuntivo, dependiendo de los medios de locomoción del animal y su medio ambiente.

La Figura 10 representa la arquitectura típica de los componentes del músculo de mamíferos y aves. Las fibras están dispuestas en paralelo formando haces y los grupos de haces forman el músculo; envolviendo todo el músculo existe una 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 esta parten finas láminas de tejido conjuntivo que rodean cada fibra muscular. Esta última capa o vaina se denomina endomisio (Fenema, 1993).

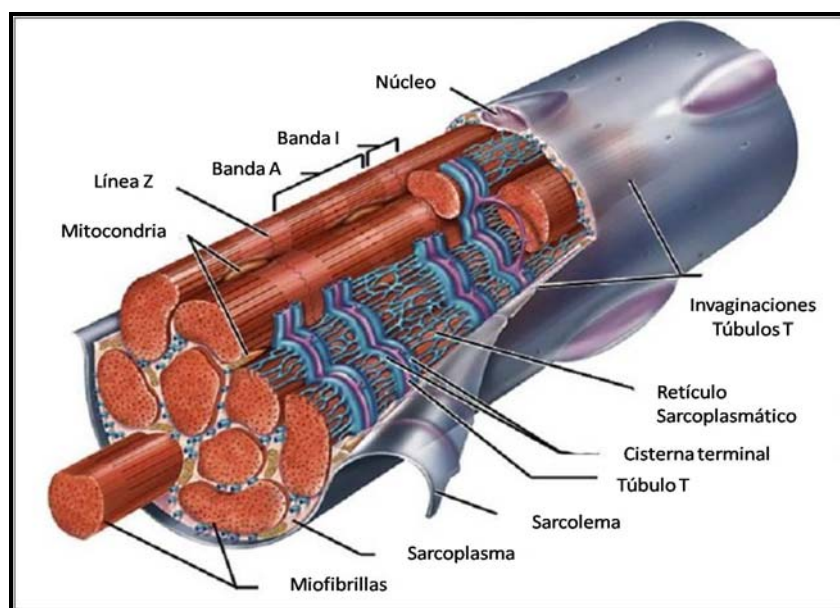


Fuente: Hui et al. 2006

Figura 10. Arquitectura típica de los componentes del músculo



Los vasos del sistema circulatorio se localizan en el perimysio, en tanto que las pequeñas unidades capilares están localizadas en el endomisio. La Figura 11 es la representación esquemática de una fibra muscular típica, cuyos componentes principales son el sarcolema, las fibras contráctiles el fluido celular (sarcoplasma) y los orgánulos. (Fenema, 1993)



Fuente: Hui et al. 2006

Figura 11. Representación esquemática de una fibra muscular

Las invaginaciones del sarcolema forman el sistema transversal, denominado túbulo T. Los extremos de los túbulo 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 ésta. El encuentro del sistema T con el retículo sarcoplásmico (triada) se produce en diferentes localización intrafibra en los diferentes músculos (Hui et al. 2006, Fenema, 1993).

Los tubulos 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 ATP asa de las proteínas contráctiles y hace posible que se produzca la contracción. La relajación se efectúa en parte como un proceso inverso mediante secuestro de calcio por el retículo sarcoplásmico (Hui et al. 2006).

Las mitocondrias son organelos localizados en el sarcoplasma su función es capturar la energía del metabolismo de los carbohidratos, proteínas y lípidos y así proveer a la fibra muscular una fuente de energía química. Contiene enzimas que la fibra usa en su metabolismo oxidativo. Los núcleos estan distribuidos en la vecindad de la superficie de la célula muscular y juegan un papel importante en la síntesis de proteínas.

Los lisosomas son vesículas localizadas en el sarcoplasma que contienen grandes cantidades de enzimas hidrolíticas capaces de digerir la fibra y su contenido. Las enzimas proteolíticas de estos organelos se denominan catepsinas, se han aislado diversas catepsinas con actividades diferentes.



II.2 Proteínas contráctiles

Las miofibrillas constituyen el sistema contráctil, tienen la longitud de la fibra muscular y un diámetro de 1 μm y están cubiertas por el retículo sarcoplásmico. Las bandas oscuras de las fibrillas son anisotrópicas o birrefringentes cuando se observan con luz polarizada. Por ser anisotrópicas se denominan bandas A.

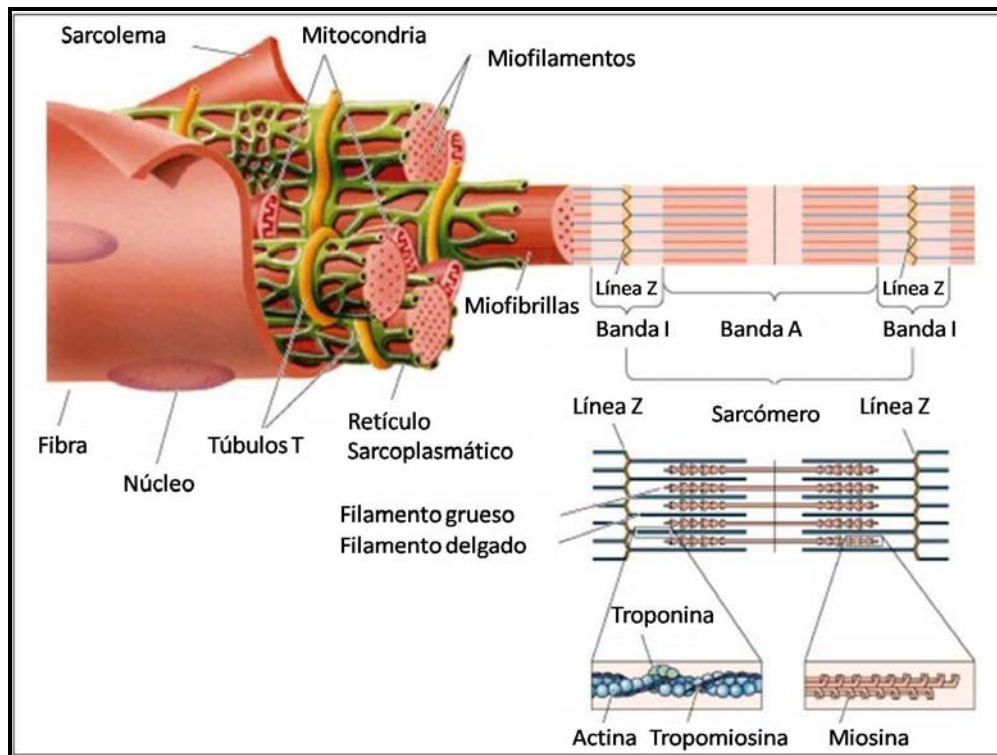
Las bandas que aparecen más claras son isotrópicas por lo que se denominan bandas I. En el centro de cada banda I existen una línea oscura denominada línea Z o disco Z. La parte central de la banda A es una zona clara que se denomina banda H. La unidad contractil de la fibrilla se denomina sarcómero y se define como el material localizado entre los discos Z adyacentes.

Un sarcómero está formado por filamentos longitudinales gruesos y delgados. La banda A comprende filamentos gruesos (miosina) y filamentos delgados (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 los filamentos delgados se solapan con los filamentos gruesos en partes de la banda A. La zona más clara de la banda A, la banda H, es un área donde los filamentos delgados no se solapan con los gruesos (Hui et al. 2006).

El estado contractil 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 otros. Durante la contracción, la longitud de la banda A permanece constante pero la banda I y la zona H se acortan.



Los filamentos delgados están conectados a los discos Z y por esta razón el disco Z sirve como punto de anclaje durante el proceso contractil. Cada filamento de la banda I está ligado a los cuatro filamentos mas proximos en el sarcómero adyacente. La línea M esta localizada en el área de los filamentos gruesos en la que las proyecciones de las cabezas de la miosina no estan presentes y sirve para mantener los filamentos en posición geométrica correcta (Hui et al. 2006).



Fuente: Hui et al. 2006

Figura 12. Principales componentes de la fibra muscular



II.2.1 Miosina

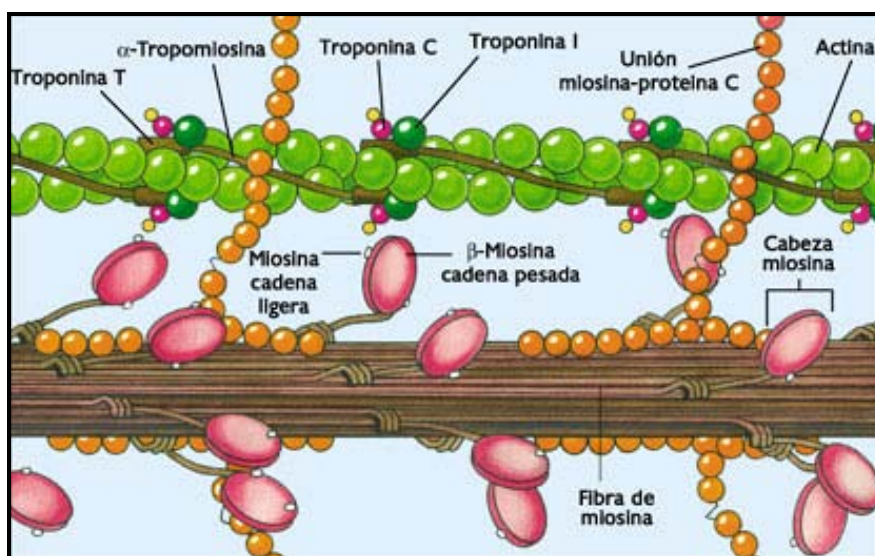
La miosina es la principal proteína de los filamentos, se encuentra en mayor concentración en el tejido muscular en comparación con actina, constituye 55% de las proteínas miofibrilares. La miosina es una molécula proteica alargada de unos 160 nm de longitud con una masa molecular de aproximadamente 460 kDa y esta formada por seis subunidades, dos unidades idénticas de miosina pesada (HM) con una masa molecular de 200 kDa y cuatro cadenas de miosina ligera (LM) con una masa de 16 a 21 kDa (Hui et al. 2006).

Las cadenas pesadas de la miosina tienen regiones de cabeza y cola que refleja las porciones globular y de bastón, respectivamente de las moléculas. Las fracciones helicoidales de las dos cadenas de HM se enrollan helicoidalmente entre sí formando una superhélice que corresponde a la fracción de cola de la miosina, mientras que los dominios globulares generan una doble cabeza.

La miosina tiene seis cadenas polipeptídicas, las cuales están ensambladas en una estructura cuaternaria que se asemeja a un bastón (cola) con dos cabezas en forma de pera. Las cadenas son de dos tipos: alcalinas (LM1 o LM3) y DTNB (LM2 o LM4), las primeras se disocian en condiciones alcalinas y son esenciales para la actividad de ATPasa de la miosina. Con cada una de las secciones de la cabeza existen dos cadenas ligeras asociadas, de tal modo que cuatro cadenas ligeras están unidas con cada molécula de miosina (Hui et al. 2006).



Las cadenas ligeras son de dos clases químicamente diferentes. Una está formada por cadenas ligeras DTNB (5,5' ditiobis-2-nitrobenzoico), llamadas así por que el tratamiento de la miosina con el reactivo tiólico produce su separación. La segunda está formada por cadenas ligeras alcalinas, llamadas así porque se liberan en condiciones alcalinas (Hui et al. 2006).



Fuente: Hui et al. 2006

Figura 13. Representación de las estructuras de miosina y actina antes de la contracción

II.2.2 Actina

La actina es la proteína principal de los filamentos delgados y compone 20% de la proteína miofibrilar del músculo. La forma de la actina se puede describir como dos dominios, en forma de cacahuete, de igual tamaño situados uno al lado del otro.



En la Figura 13 se observan los monómeros de actina llamados actina globular se ensamblan en una doble estructura helicoidal denominada actina fibrilar que constituye la porción principal del filamento delgado. La actina globular se compone de 374-375 aminoácidos y tiene una masa molecular de 42 a 48 kDa, es estable en agua donde puede existir también como dímero. Los filamentos de la actina fibrilar interactúan con la porción de cabeza de la miosina, se ensamblan con polaridades opuestas en relación con 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 (Hui et al. 2006).

II.2.3 Actomiosina

Cuando se mezclan actina y miosina *in vitro*, se forma un complejo denominado actomiosina. Este complejo se puede disociar por adición de ATP, como ocurre en el músculo vivo. La miosina y actina son las dos proteínas más abundantes en la carne ocupando 43% del total de las proteínas miofibrilares. 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 (Pérez, 2008).

II.2.4 Colágeno

El colágeno es la principal fracción del tejido conjuntivo. Este componente es muy importante debido a que contribuye de manera significativa a la dureza del músculo del mamífero. Abunda en los tendones, piel, hueso, sistema vascular de los animales y en las vainas de tejido conjuntivo que envuelven al músculo.



El colágeno alcanza un tercio o más del total de las proteínas de los mamíferos. Alrededor de 10% de la proteína del músculo de mamífero es colágeno; esta cantidad es generalmente mucho menor en los pescados. Parte del colágeno es soluble en disoluciones salinas neutras, otra parte es soluble en ácido y una tercera insoluble.

El monómero de colágeno es una proteína cilíndrica, está formada por tres cadenas polipeptídicas unidas entre sí formando una superhélice. El colágeno existe en diversas formas polimórficas el tipo más común de colágeno es el Tipo I formado por dos cadenas polipeptídicas idénticas. Un segundo tipo de colágeno (Tipo III) está formado por tres cadenas idénticas, es inusual por que tiene enlaces disulfuro intramoleculares en el péptido carboxi-terminal no helicoidal. Un tercer tipo de colágeno (Tipo IV) es aproximadamente un tercio más largo que los Tipos I y III. El cuarto tipo de colágeno es el colágeno Tipo V muy semejante al tipo IV (Fenema, 1993).

Se ha señalado la presencia de colágeno en el epimisio y endomisio. Se sabe que el colágeno juega un papel importante en la dureza de los músculos de los mamíferos. En algunos casos las hebras simples de polipeptidos que constituyen el colágeno forman enlaces cruzados entre sí de tipo covalente. La solubilidad del colágeno disminuye a medida que aumentan los enlaces cruzados intermoleculares (Fenema, 1993).

En el colágeno se producen dos importantes oxidaciones. La conversión de prolina en hidroxiprolina y la de lisina en hidroxilisina. Este último compuesto y la lisina se pueden oxidar en algunos casos a 1-amino-1-carboxi-pentan-5-al, compuesto que participa en la formación de enlaces cruzados del colágeno.



Los enlaces cruzados ocurren espontáneamente por condensación de grupos aldehídos. Este proceso es una reacción tipo condensación aldólica o formación de una base de Schiff en la que el aldehído reacciona con un grupo amino. Cuando la hidroxilisina reacciona con un aldehído, el producto de reacción sufre una reestructuración tipo Amadori para formar una estructura ceto hidroxilisina-5-ceto-norleucina.

A medida que los animales envejecen, los enlaces cruzados de colágeno se convierten de la forma reducible a una forma no reducible más estable. El número de enlaces cruzados del colágeno también aumenta con la edad, lo cual explica parcialmente por qué 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. Por otro lado a medida que aumentan los enlaces cruzados del colágeno, este se hace menos soluble en diversos disolventes, como disoluciones salinas y ácidas (Fenema, 1993).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

El desarrollo experimental se dividió en dos secciones, la primera parte consistió en obtener la información del perfil químico y calorimétrico de los cortes de carne de bovino de mayor consumo en México, con el objetivo de caracterizarlos en función de su composición.

Se contempló obtener las muestras en rastros TIF y de animales recién sacrificados para tener el historial del animal (raza, edad, procedencia y tipo de alimentación) y para evitar que la carne tuviera un tiempo prolongado en refrigeración o congelación pero fue difícil porque solo se venden las canales enteras y no cortes al menudeo. Para el trabajo experimental de este proyecto todos los cortes se adquirieron en un centro comercial "Wal Mart" ubicado en Av. Copilco No 164, Colonia Oxtopulco, Delegación Coyoacan, C.P. 04318, México D.F.

De cada corte se compraron tres lotes de 500 g de canales distintas, con el objetivo de obtener muestras de diferentes animales y que el muestreo fuera representativo. La forma de trabajo fue comprar tres cortes por semana para facilidad de trabajo experimental y principalmente para evitar tener los cortes almacenados por mayor tiempo después del día de compra. La carne se compró a inicio de semana para evitar comprar cortes que tuvieran varios días de haber sido cortados y expuesto a la luz.



Posteriormente cada corte se homogeneizó realizando un picado fino y se almacenó en una bolsa de plástico Ziploc en refrigeración (3°C) mientras se realizaban las determinaciones necesarias para el análisis químico y calorimétrico.

Para las determinaciones de Calorimetría de Barrido Diferencial solo se tomaron muestras sin tejido graso. A continuación en la Figura 14 se muestra el diagrama de trabajo que se siguió.

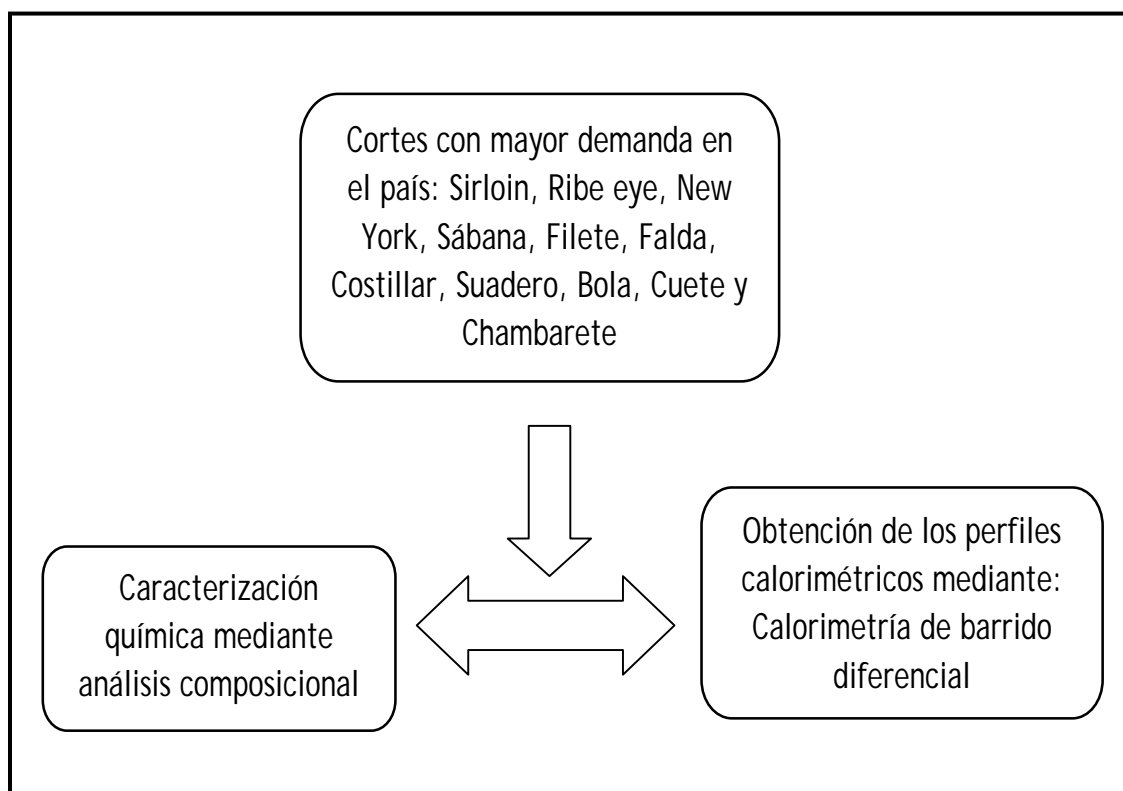


Figura 14. Diagrama de trabajo experimental.
"Revisión y caracterización de los cortes de mayor consumo en México"



En la segunda parte se seleccionaron cinco cortes de los doce caracterizados previamente. La selección se basó en el costo y demanda, se incluyeron cortes de bajo precio como Chambarete, cortes de consumo común como Bola y Cuete, y finalmente cortes de mayor precio como Sirloin y Filete (Ver Figura 15).

La razón para tomar este criterio de selección es principalmente porque existen cortes como Filete que sin importar el costo, su demanda es alta y el método de conservación es un punto crítico para evitar pérdidas económicas. Por lo anterior es importante conocer los cortes que se ven más afectados por la congelación. Cabe mencionar que este trabajo será el punto de partida de estudios futuros donde se realizarán comparaciones entre dos métodos de conservación Congelación Vs Altas Presiones Hidrostáticas.

Para el estudio de seguimiento de los cambios químicos de la carne durante el almacenamiento en congelación, la carne se compró en el mismo centro comercial antes mencionado. Se compraron tres lotes de 1.5 kg de cada corte de canales distintas, la carne se homogeneizó y se cortó en rebanadas del mismo tamaño (aprox. 10 x 10 cm) y grosor (aprox. 0.3 cm). Se empacó en bolsas de plástico Ziploc en las que se colocó la cantidad suficiente de carne para realizar las determinaciones correspondientes a cada tiempo y evitar descongelar y congelar la carne durante todo el estudio.

En este estudio se realizaron muestreos semanales para dar seguimiento a los cambios que sufrieron las proteínas, se determinó la reactividad de los grupos funcionales (amino y sulfhidrilo), solubilidad y cambios conformacionales.

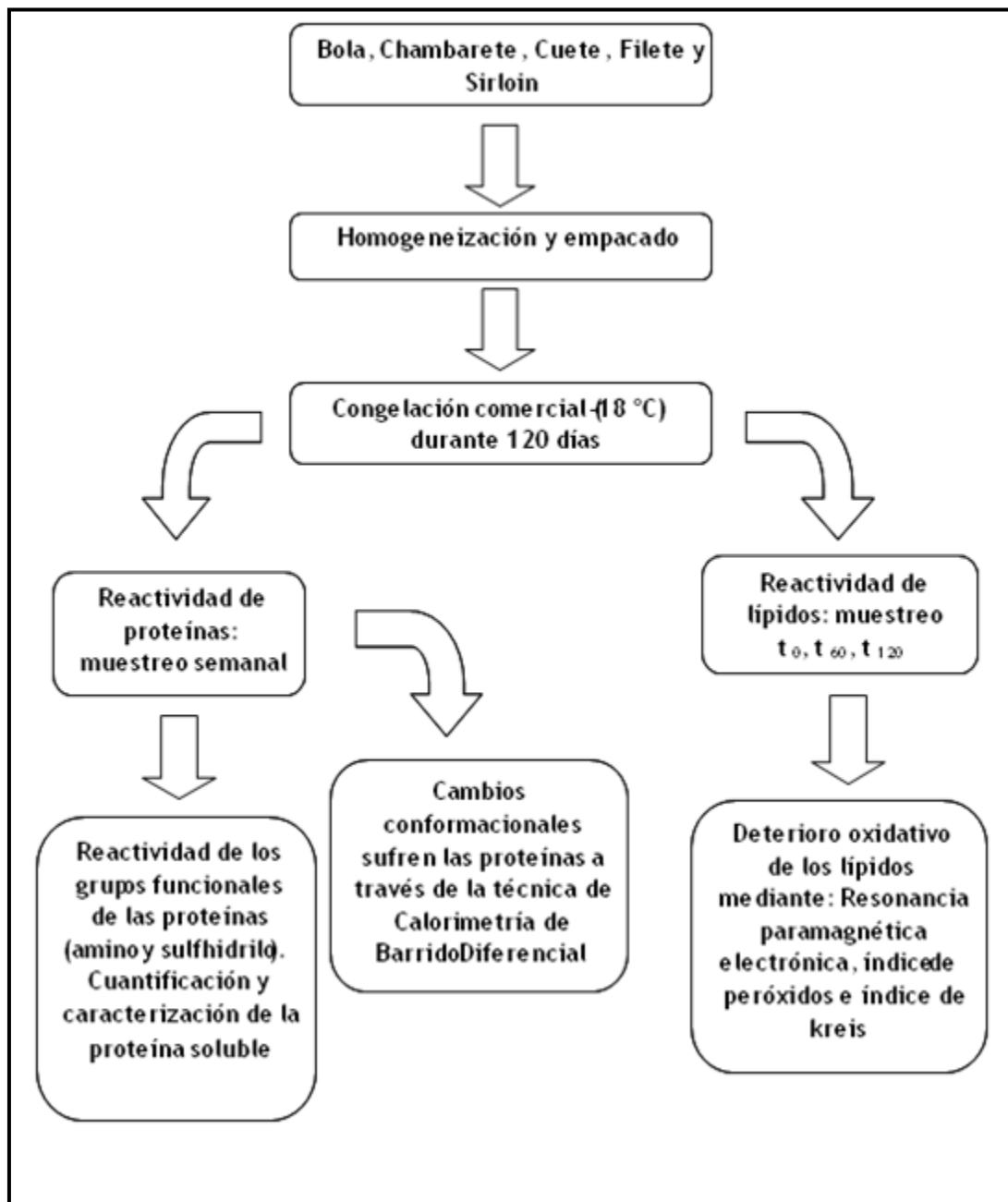


Figura 15. Diagrama de trabajo del seguimiento de los cambios químicos de los macrocomponentes de la carne durante el almacenamiento en congelación



Por otra parte para la caracterización de los pesos moleculares de las proteínas se realizaron solo dos muestreos t_0 y t_{120} . Finalmente para dar seguimiento a la reactividad de lípidos se realizaron tres muestreos, t_0 , t_{60} y t_{120} , se extrajo la grasa y se determinaron radicales libres, peróxidos y compuestos carbonílicos.

III.1 Análisis composicional (AOAC, 2005)

Las determinaciones correspondientes al análisis químico proximal se realizaron de acuerdo con las técnicas oficiales del AOAC.

- 35.1.13 Humedad: AOAC Official Method 950.46, Solids (Total) in Meat.
- 35.1.14 Cenizas: AOAC Official Method 920.153, Ash in Meat.
- 35.1.15 Nitrógeno: AOAC Official Method 928.08, Nitrogen (Total) in Meat.
- El contenido de grasa se realizó de acuerdo con la metodología reportada por Bligh and Dyer (Bligh & Dyer, 1959).

III.2 Calorimetría de Barrido Diferencial (Zamri et al. 2006)

El análisis térmico se realizó en un equipo Perkin- Elmer DSC-7 equipado con un software TAS-7. El equipo se calibró con un estándar de indio. Se homogeneizó la carne y se pesaron 10-20 mg en una celda de aluminio (40 μ L) y se cerró herméticamente con una prensa. La celda se colocó en el calorímetro junto con una celda vacía como referencia y se realizó un barrido de 20-100 $^{\circ}$ C a una velocidad de 10 $^{\circ}$ C/min.



Una vez que se estabilizó el equipo se examinó un estándar de indio a una velocidad de 20 °C /min y se llevó hasta una temperatura final de 200 °C. El termograma que se obtuvo se muestra en la Figura 16.

- Masa indio (mg): 6.586
- Ancho del pico: 152.19 - 154.77 °C
- ΔH : 28.6 J/g
- ΔH obtenida: 28.7 J/g
- T transición: 156.6°C
- T transición obtenida: 155.4°C

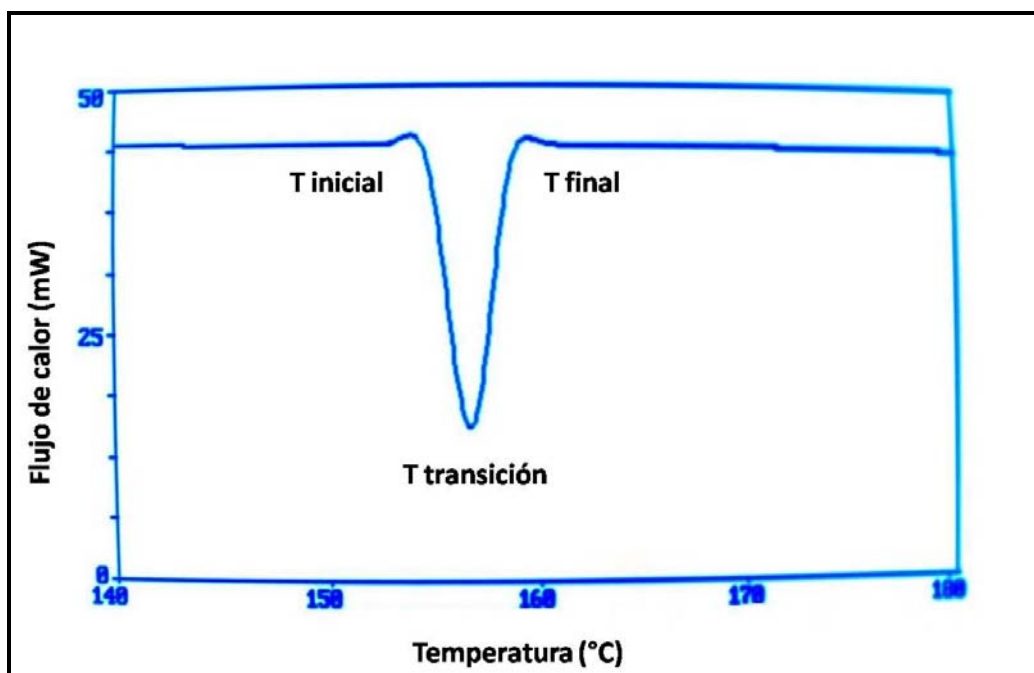


Figura 16. Pico característico del estándar de indio para la calibración del calorímetro



III.3 Extracción y cuantificación de proteína soluble

Se pesó 1 g de carne en un vaso de precipitados de 100 mL y se adicionaron 10 mL de solución de EDTA 0.02 M pH 10 (Sedlak et al. 1968), la mezcla se homogeneizó en un homogenizador de alta velocidad (ULTRA-TURRAX T 25) y posteriormente se centrifugó a una velocidad de 2500 rpm en una centrífuga Labtronic Scientific H-1650, se separó el sobrenadante y en este se cuantificó la concentración de proteína soluble por el método de Lowry (Lowry et al., 1951).

La concentración de proteína se obtuvo por referencia a una curva de calibración preparada con albumina bovina sérica con concentraciones de 10 - 100 µg/mL, tratada de la misma manera que los reactivos.

III.4 Caracterización de los pesos moleculares de la proteína soluble de los cortes de carne de bovino mediante electroforesis desnaturizante SDS-PAGE (Comfort & Howell, 2003)

Se montaron los geles en la cámara MINIPROTEAN II (Bio-Rad) y en el reservorio superior se colocó el buffer del cátodo y en el reservorio inferior el buffer del ánodo. Se utilizó un marcador con los siguientes pesos moleculares: 14, 39, 45, 66 y 97 kDa.

La preparación de la muestra consistió en extraer la proteína soluble, se cuantificó la concentración por el método de Lowry y se tomó una alícuota 20 µL (20 µg / mL) y se mezclaron con 10 µL de buffer de tratamiento (0.125M Tris-HCl, 4% SDS, 20% glicerol, 10% mercaptoetanol, 0.01% azul de bromofenol a pH 6.8). La mezcla se homogeneizó y se sometió a un tratamiento térmico por 5 minutos en un baño de agua hirviendo.



Una vez preparada la muestra se inyectó dentro de los pocillos de los geles (elaborados al 12% de acrilamida) y se corrieron en la cámara antes mencionada. Los geles se tiñeron con una solución de azul de Comassie durante toda una noche y al día siguiente se destiñeron con solución 50% metanol (v/v) 10% ácido acético (v/v).

III. 5 Cuantificación de aminas primarias (grupo amino) (Krasaechol et al. 2008)

Se tomaron 20 μ L de la solución de proteína soluble y se adicionaron 980 μ L de buffer de tetraborato de sodio 0.10 M pH 9.3, se homogeneizaron perfectamente y finalmente se adicionaron 20 μ L de disolución de ácido trinitrobenzensulfónico 0.03 M se agitó la mezcla y se dejó reposar durante 30 minutos. El color producido se leyó a una longitud de onda de 420 nm en un espectro Perkin Elmer Lambda 25. La concentración de grupo amino se obtuvo a través del coeficiente de extinción molar reportado por Krasaechol et al. 2008 en la siguiente fórmula.

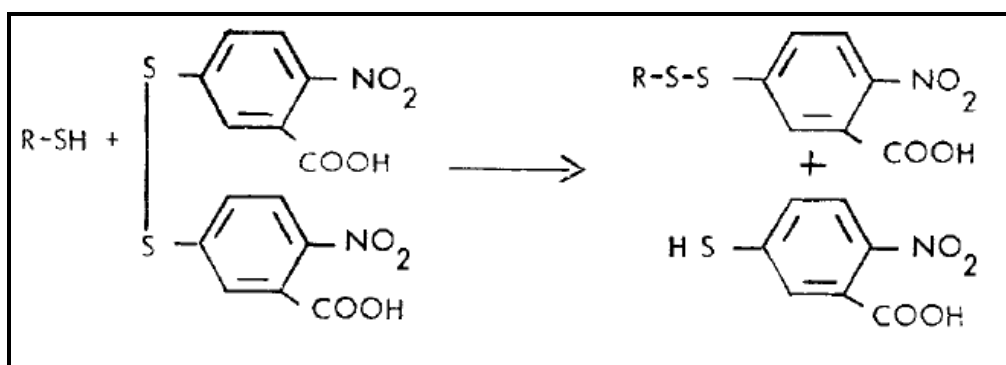
$$f_{NH_2} \left(\frac{\text{moles}}{g} \right) = \frac{\text{Absorbancia (420 nm)} \times 0.001025 \text{ (L)}}{20300 \left(\frac{\text{L}}{\text{moles cm}} \right) \times 1 \text{ (cm)} \times \text{Peso (g)}}$$

III.6 Cuantificación de tioles (grupo sulfhidrilo) (Soottawat et al, 1997)

Se agregó 1 mL de la disolución de proteína soluble en un tubo de ensayo, se mezcló con 9 mL de Buffer Tris-HCl pH 6.8 (8 M urea, 2% SDS y 10 mM EDTA); de esta solución se tomó una alícuota de 4 mL y se hizo reaccionar con 0.4 mL de disolución de 5,5' - ditiobis [ácido 2-nitrobenzoico] (DTNB) 0.1%, la mezcla se incubó en un baño a 40°C durante 25 minutos medidos con cronómetro.



Finalmente se midió la absorbancia del color producido a una longitud de onda de 412 nm en un espectro Perkin Elmer Lambda 25. La reacción de cuantificación de tioles con el reactivo de DTNB se muestra en la Figura 17.



Fuente: Sedalk, 1968

Figura 17. Reacción de cuantificación de R-SH con DTNB

La concentración de grupo sulfhidrilo se obtuvo por referencia a una curva de calibración preparada con L-cisteína con concentraciones de 10 - 100 $\mu\text{g/mL}$, tratada de la misma manera que los reactivos.

III.7 Extracción de la fracción lipídica por el método de Bligh & Dyer (1959)

Se pesaron de 2 a 20 g de la carne homogenizada en un vaso mezclador, se adicionó agua destilada suficiente para llevar a un total de 16 mL (se requiere conocer previamente el contenido de humedad de la carne para hacer el ajuste a 16 mL) junto con 40 mL de metanol y 20 mL de diclorometano. Se molió la mezcla por 2 minutos en una licuadora.



Posteriormente, se adicionaron 20 mL de diclorometano y se homogeneizó por 10 segundos a alta velocidad, finalmente se agregaron 20 mL de agua destilada y se homogeneizó de nuevo durante 30 segundos. Se centrifugó la mezcla en un centrifuga Labtronic Scientific H-1650 durante 10 minutos a una velocidad de 2500 rpm.

Se extrajo la fase orgánica y se filtró a través de papel filtro. El filtrado se vació a un matraz de bola a peso constante y se evaporó el disolvente a 40°C en un rotavapor BUCHI R-205, equipado con un baño BUCHI Heating Bath B-490 y una bomba de vacío BUCHI Vac V-500. Una vez evaporado el disolvente el matraz se llevó a sequedad en una estufa de vacío (National Appliance Company Modelo 5831) a 60°C hasta peso constante y por diferencia de peso se calculó en contenido de grasa.

III.8 Análisis Cualitativo de radicales libres (Papadimitriu et al. 2006)

Se pesaron 2 g en un vaso de precipitados de 50 mL y se adicionaron 3 mg del atrapador de spín electrónico (N-T-butil-fenil-nitrona), y se disolvió perfectamente. Se vertió la mezcla de aceite con el atrapador en un capilar de vidrio (2 mm de diámetro y 20 cm largo) y se realizó la determinación de radicales libres en un equipo de Resonancia Paramagnética Electrónica (Broker Modelo Elexys E500) bajo las siguientes condiciones de trabajo:

- Intensidad: doble
- Campo: doble
- Intervalo del campo (G): 3462.7 a 3562.7, 1024 puntos
- Centro: 3512.7
- Amplitud: 0.0007



-
- Frecuencia (Hz): 100000
 - Frecuencia de microondas (Hz): 9.857561×10^9
 - Potencia de microondas (W): 0.0201
 - Resonador: SHQE

III.9 Cuantificación de peróxidos (Crowe & White, 2001)

Se pesaron 0.5 ± 0.05 g de aceite o grasa en un matraz Erlenmeyer de 125 o 250 mL y adicionar 2.5 mL de una solución de ácido acético/diclorometano (3:2). Se adicionaron 0.05 mL de una solución saturada de yoduro de potasio y se dejó reposar en la oscuridad durante 60 segundos. Se añadieron 7.5 mL de agua desionizada hervida y fría a temperatura ambiente, y se adicionaron 0.1 mL de disolución de almidón indicador (almidón soluble al 1% en agua). Se tituló lentamente con tiosulfato de sodio 0.001 N hasta la desaparición total del color azul inicialmente formado.

III.10 Cuantificación de compuestos carbonílicos por el método de índice de Kreis (Holm & Greenbank, 1923)

Se disolvieron de 250 mg de grasa en 5 mL de diclorometano, se añadieron 10 mL de una solución de TCA al 30% en ácido acético glacial y 1 mL de floroglucinol al 1% en ácido acético. Se agitó e incubó por 15 min, en un baño maría a 45°C , se dejó enfriar y se agregaron 4 mL de etanol, se homogeneizó y midió la absorbancia de la muestra a 540 nm en un espectro Perkin Elmer Lambda 25 frente a un blanco de reactivos.



CAPITULO IV

RESULTADOS

IV.1 Revisión de los cortes de mayor consumo en el país

Se realizó el perfil químico y calorimétrico de los cortes de mayor demanda en el país de acuerdo con la revisión bibliográfica que se había realizado previamente. Los cortes seleccionados fueron: Sirloin, Ribe eye, New York, Sábana, Arrachera, Filete, Falda, Costillar, Suadero, Bola, Cuete y Chambarete. A cada corte se le realizó un análisis químico de acuerdo con las metodologías establecidas por la AOAC así como un análisis térmico por Calorimetría de Barrido Diferencial.

IV.1.1 Análisis composicional

Se realizó el análisis composicional de cada uno de los cortes seleccionados con el fin de conocer las diferencias existentes entre los macrocomponentes de la carne, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 9.

El análisis químico permitió caracterizar cada uno de los cortes y dividirlos en tres grupos en función del contenido de grasa: magros, marmoleados y marmoleados con bordes de tejido adiposo. Los cortes magros son los que presentaron un mayor contenido de proteínas, el valor osciló entre 80 - 83 %, mientras que para los lípidos no superó 10%, los cortes que se encontraron dentro de esta clasificación fueron: Arrachera, Cuete, Chambarete, Sábana y Filete.



Tabla 9. Análisis composicional de diferentes cortes de carne de bovino

Corte	Humedad (g/100)	Lípidos	Proteínas	Cenizas
		(g /100g de muestra seca)		
Rib eye	66.60 ^g ± 0.40	30.70 ^c ± 1.61	64.90 ^h ± 1.12	2.80 ^h ± 0.12
New York	54.60 ^h ± 0.20	35.25 ^b ± 1.02	63.60 ⁱ ± 2.02	1.06 ^j ± 3.01
Chuleta	48.62 ⁱ ± 0.51	37.53 ^a ± 1.26	56.51 ^j ± 0.92	1.90 ⁱ ± 0.07
Bola	74.30 ^b ± 0.23	11.11 ^g ± 0.57	83.93 ^b ± 1.41	4.95 ^b ± 0.26
Falda	71.87 ^c ± 0.40	15.10 ^f ± 1.12	70.08 ^g ± 1.41	4.25 ^c ± 0.01
Sirloin	72.82 ^d ± 0.90	15.80 ^e ± 0.28	76.64 ^e ± 0.31	3.80 ^f ± 0.08
Suadero	71.19 ^f ± 0.43	19.54 ^d ± 0.46	75.92 ^f ± 1.41	3.43 ^g ± 0.15
Arrachera	73.15 ^c ± 0.30	5.30 ^j ± 0.25	82.50 ^c ± 0.77	5.90 ^a ± 0.40
Cuete	72.80 ^d ± 0.50	4.30 ^k ± 0.13	82.23 ^c ± 0.56	3.91 ^e ± 0.11
Chambarete	75.82 ^a ± 0.60	5.55 ⁱ ± 0.10	80.21 ^d ± 0.90	4.27 ^c ± 0.12
Sabana	72.55 ^e ± 0.54	9.00 ^h ± 0.70	86.60 ^a ± 0.21	4.03 ^d ± 0.12
Filete	71.82 ^d ± 1.44	1.60 ^l ± 0.05	80.04 ^d ± 1.12	3.70 ^f ± 0.66

Los datos representan los promedios ± desviación estándar de triplicados, C.V. < 5%. Los promedios con letras distintas son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$ de acuerdo con la prueba de rango múltiple de Duncan (por columna).

Por otro lado los cortes marmoleados presentaron un contenido de lípidos entre 10 y 20%, el Suadero fue el corte con mayor contenido de grasa dentro de este grupo.



La Bola fue el corte que obtuvo el valor más elevado de proteína con 83% en comparación con el resto de los cortes (Falda, Sirloin y Suadero) cuyos contenidos fueron 70 a 76%. Finalmente los cortes que presentaron un contenido de lípidos mayor de 30% fueron: Rib eye, New York y Costillar. Este tipo de cortes se caracterizaron por presentar grasa en los bordes además del marmoleo, el contenido de proteínas fue bajo en comparación con los otros dos grupos, el más bajo fue costillar con 56 %, mientras que New York fue de 64%.

IV.1.2 Análisis térmico

Cada corte fue sometido a un análisis térmico por Calorimetría de Barrido Diferencial, técnica que permite caracterizar e identificar las proteínas presentes en los alimentos (Amir et al. 2006). Los perfiles calorimétricos que se obtuvieron concuerdan con lo reportado por Ojeda et al. 2001; Nedenskov et al. 2003; Tornberg, 2005; Amir et al. 2006 y Skipnes et al. 2008. En la Figura 18 se resumen los termogramas obtenidos de los diferentes cortes de carne de bovino, se observa que cada corte presentó un registro en particular (huella térmica).

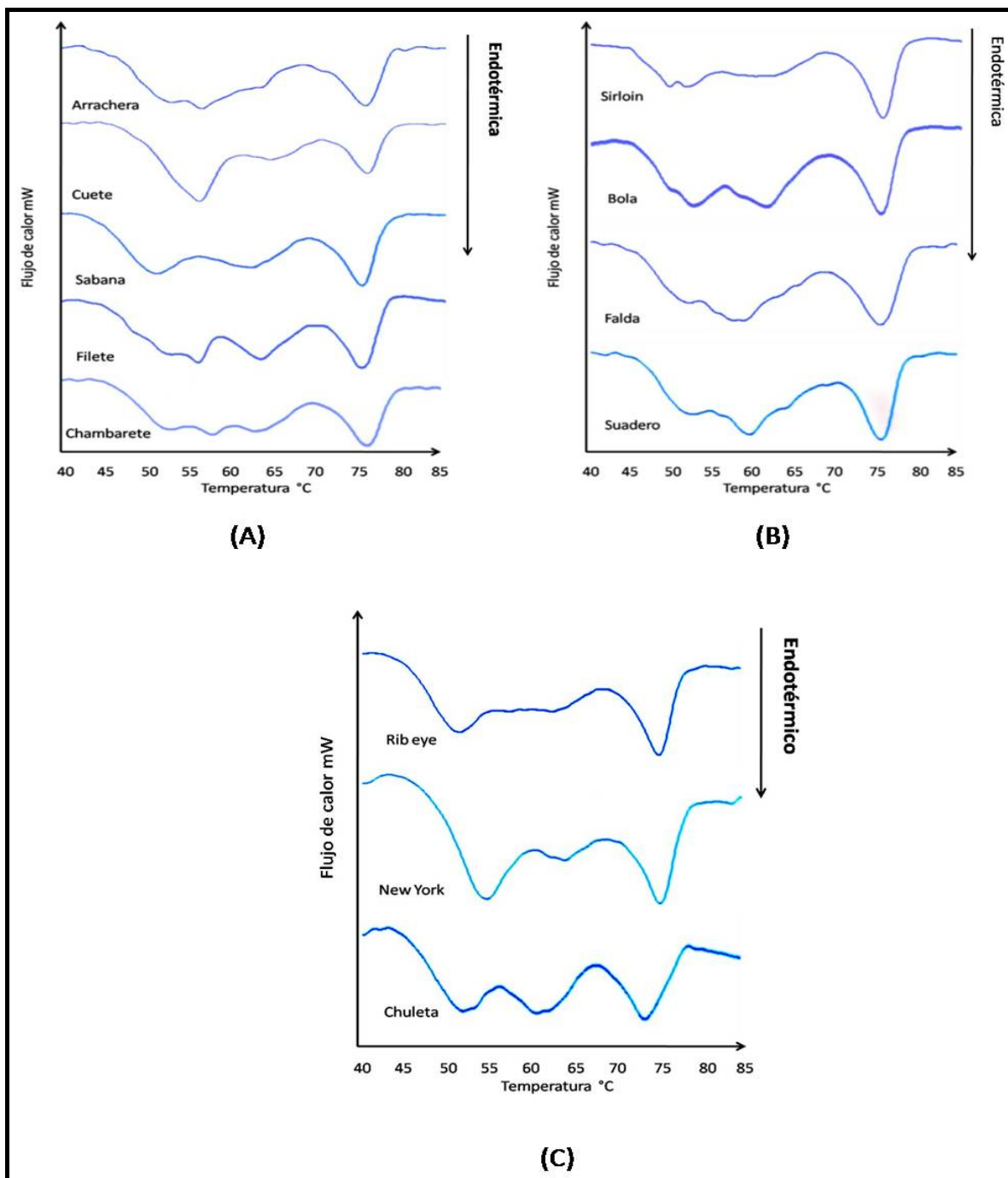


Figura 18.- Termogramas de los diferentes cortes de carne de bovino (A) Cortes con un contenido de lípidos $< 10\%$, (B) Cortes con un contenido de lípidos entre 10-20% y (C) Cortes con un contenido de lípidos $> 20\%$



En todos los termogramas anteriores se presentan tres transiciones endotérmicas correspondientes a las proteínas miofibrilares (actina y miosina) así como estromales (colágeno). La primera transición corresponde a la miosina, la segunda se debe a las proteínas sarcoplásmicas y colágeno y la tercera a la actina. Los datos de los termogramas se resumen en el Anexo A.

De manera general se observó que la miosina y la actina fueron las proteínas que presentaron valores de ΔH muy cercanos a 1 cal/g carne, así como intervalos amplios en la temperatura de desnaturalización. Las proteínas sarcoplásmicas y colágeno presentaron valores muy bajos de ΔH (menores de 0.4 cal/g carne) de hecho en algunos cortes no se pudo cuantificar su valor.

El criterio que se tomó para realizar la integración de las transiciones fue la temperatura inicial y final de las diferentes proteínas de la carne reportadas por Amir et al. 2006. La integración fue de forma manual, no se utilizó ningún programa o modelo matemático para obtener el valor de ΔH , lo cual justifica que para algunos de los cortes la transición correspondiente a las proteínas sarcoplásmicas y colágeno no se cuantificó, porque no se observó como tal una transición, pero cabe mencionar que ello no indica que las proteínas no se encuentran presentes en la muestra. En resumen se puede decir que el análisis químico permitió agrupar a los cortes en función a su contenido lipídico, el cual fue el componente con mayor variación seguido de las proteínas, mientras que el perfil calorimétrico estableció la identidad y característica propia de cada corte, se observó que los termogramas y los registros de las transiciones de las proteínas fueron distintos.



IV.2 Seguimiento de los cambios conformacionales de las proteínas (reactividad de grupos funcionales y caracterización de proteína soluble) y calidad química de los lípidos.

Con los resultados obtenidos en la primera parte donde se caracterizaron los diferentes cortes en función de su composición química y de acuerdo con la revisión bibliográfica acerca del consumo de cortes de valor agregado, se seleccionaron cinco cortes. La selección se basó principalmente en el costo y demanda, se incluyeron cortes de bajo precio como Chambarete, cortes de consumo común como Bola y Cuete, y finalmente cortes de mayor precio como Sirloin y Filete.

La razón por la que se tomó este criterio de selección es porque existen cortes como Filete que sin importar el costo, su demanda es alta y el método de conservación es un punto crítico para evitar pérdidas económicas, por lo cual es importante conocer los cortes que se ven más afectados por la congelación con el objetivo de que en estudios posteriores se pueda comparar con otros métodos de conservación como las Altas Presiones Hidrostáticas que a diferencia de la congelación este proceso no provoca defectos en sus características sensoriales o pérdida de nutrientes, que demeriten la calidad del producto. Por otro lado se tomó en cuenta también el contenido de lípidos ya que es uno de los componentes mayoritarios después de las proteínas. Se seleccionaron magros (Filete), marmoleados (Cuete, Bola, Chambarete) y marmoleados con grasa en los bordes (Sirloin). En la Figura 19 y 20 se muestran las imágenes de cada uno de los cortes seleccionados.



Bola: es una parte de la pierna, es un corte suave con un marmoleo moderado, sin grasa en los bordes



Chambarete: es una parte de la pierna, junto a la pata, es un corte con alta cantidad de colágeno



Cuete: Se encuentra en la parte posterior del cuarto trasero, es un corte muy suave, con grasa abundante.

Figura 19. Descripción de los cortes de menor precio y de consumo común Chambarete, Bola y Cuete

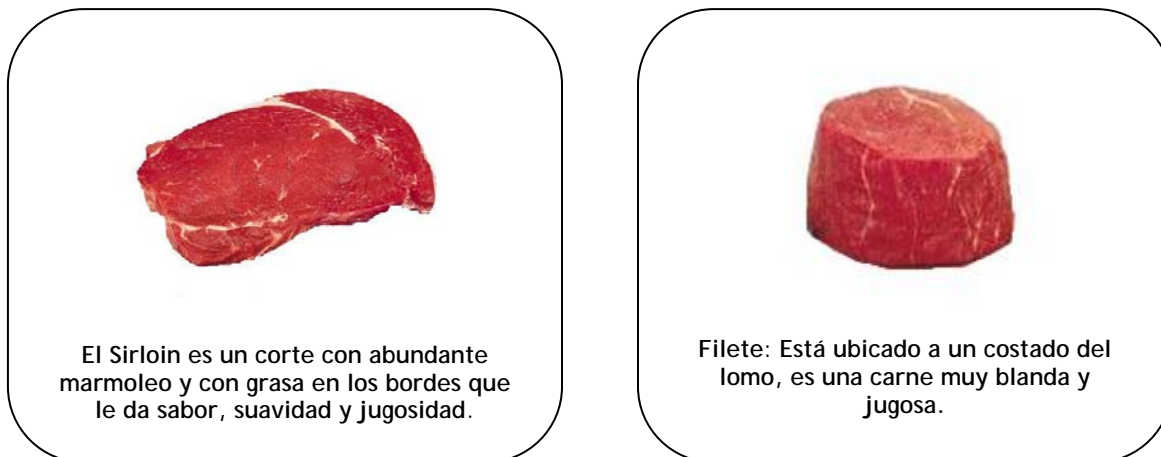


Figura 20. Descripción de los cortes de mayor precio Sirloin y Filete

IV.2.1 Seguimiento de los cambios de las proteínas a través de Calorimetría de Barrido Diferencial (CBD)

Uno de los defectos más comunes que presenta la carne cuando esta ha sido almacenada en congelación es que las proteínas son desnaturalizadas por frío provocando la pérdida de sus propiedades funcionales tales como, solubilidad, capacidad de retención de agua, de emulsificación, de gelificación, etc. (Haard, 1992; Mackie, 1993; Sotelo et al, 1994; Nedenskov et al, 2003). Los cambios que presentan las proteínas durante este periodo generalmente se estudian a través de la Calorimetría de Barrido Diferencial, técnica que ha sido utilizada para el estudio de las propiedades térmicas de las proteínas del músculo de carne de diferentes especies, bovino, porcino, avícola y pesquero. (Schubring, 1999; Tornberg, 2005)



Los termogramas de CBD obtenidos como el resultado del seguimiento de la desnaturalización térmica de las proteínas del músculo, arrojan datos termodinámicos tales como temperatura de transición, ancho del pico y entalpia, parámetros permiten comprender lo que sucede con la estructura de la proteína bajo las condiciones de estudio, el valor de la entalpía está relacionado con la proporción la estructura secundaria en una proteína (Schubring, 1999).

En cada uno de los termogramas se observa un comportamiento en común para todos los cortes, conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento las transiciones se fueron atenuando, el valor de ΔH disminuyo hasta en un 70% con respecto al valor inicial, se observó un ensanchamiento en el pico y un traslape de los registros dados por miosina y sarcoplásmicas - colágeno como lo reportó Angsupanich et al 1998 y Nedenskov et al 2003. Los parámetros que se siguieron durante el periodo de almacenamiento fueron: ancho del pico, Inicio de transición, entalpia y temperatura de transición, los cuales proporcionaron información de manera indirecta acerca de lo que sucedió con las proteínas en este periodo.

IV.2.1.1 Bola

En la Figura 21 se observa los termogramas del seguimiento de los cambios en las transiciones de las proteínas del corte bola. En el termograma correspondiente al tiempo cero se observan bien definidas tres transiciones correspondientes a la miosina,



sarcoplásmicas-colágeno y actina. El ancho del pico y el valor de ΔH es mayor para la miosina y actina, en comparación con sarcoplásmicas-colágeno. Este perfil calorimétrico fue el punto de partida para evaluar los resultados posteriores y observar los cambios que sufren las proteínas con respecto al tiempo.

Durante los primeros 50 días de almacenamiento se observaron que las transiciones correspondiente a miosina y sarcoplásmicas - colágeno disminuyeron en el valor de ΔH hasta un 50% (Ver Tablas 10 y 11). En el día 63 ambas transiciones se traslaparon en una sola, por lo que no se pueden diferenciar entre la temperatura del fin de la desnaturalización de la miosina con el inicio de sarcoplásmicas - colágeno, lo que indica que es posible que ambas proteínas perdieron su conformación nativa y adoptaron estados desnaturalizados, de tal forma que las transiciones no tienen el mismo comportamiento ni las mismas temperaturas de desnaturalización. Si se comparan estos resultados con el seguimiento de la reactividad de grupo sulfhidrilo se observa que en este tiempo la concentración disminuyó hasta en un 50% (Ver Anexo C), lo que indica que seguramente se han formado puentes disulfuro debidos al entrecruzamiento de las proteínas provocando así un incremento en el valor de ΔH .

La actina fue la proteína con mayor resistencia a la desnaturalización por efecto de la congelación, su valor de ΔH solo disminuyó un 20% con respecto al valor inicial (Ver Tabla 12), el registro de la transición se mantuvo bien definido hasta el último de almacenamiento. Por lo que se requiere de mayor tiempo de almacenamiento bajo las mismas condiciones de trabajo para observar mayor cambio en su conformación.

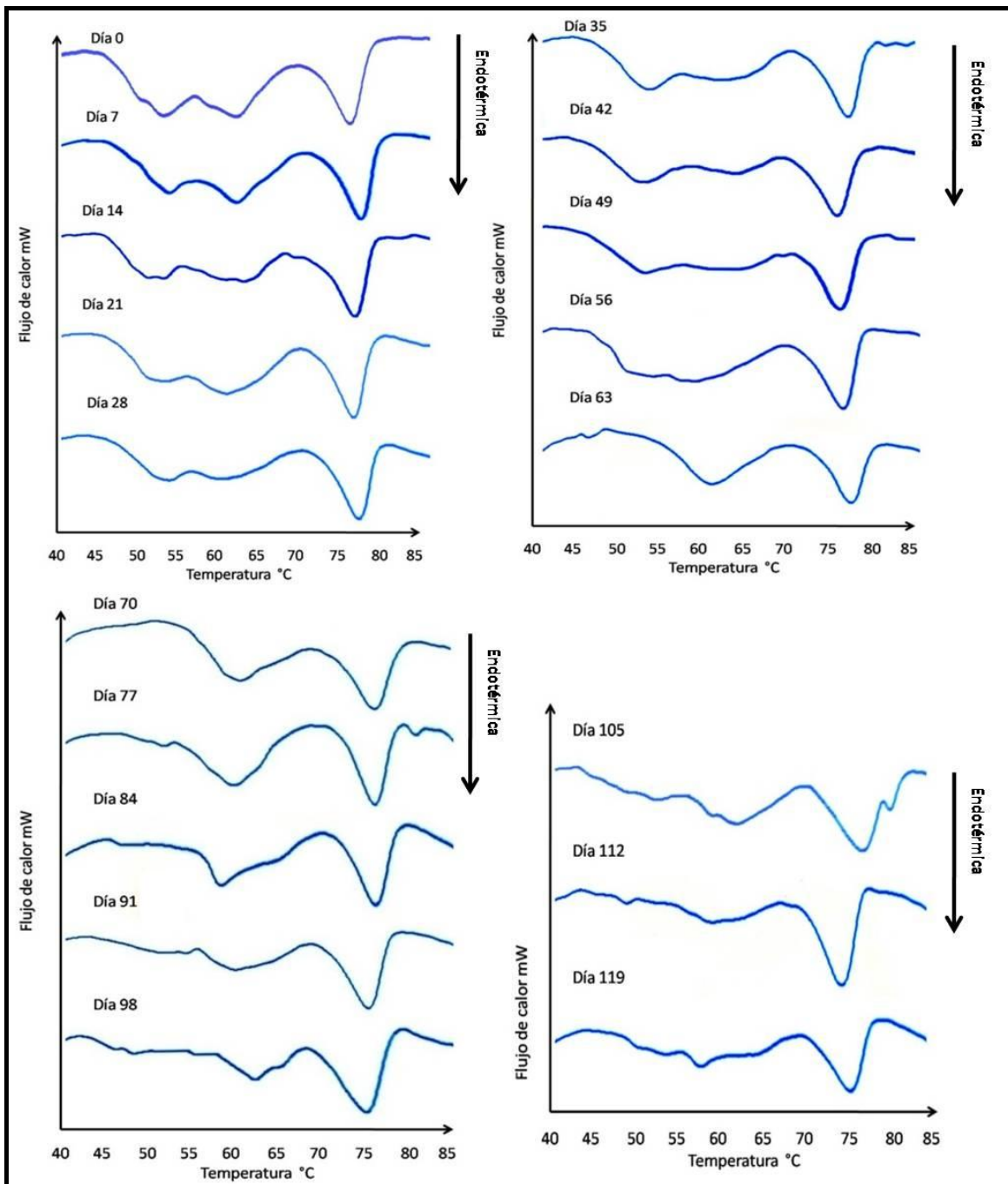


Figura 21.- Termogramas del estudio de las proteínas del corte Bola durante su almacenamiento en congelación (-18°C)



Finalmente conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento en los termogramas posteriores al día 63 solo se observaron dos transiciones, las cuales se fueron ensanchando y su valor de ΔH disminuyó indicando que el proceso de desnaturalización fue continuo.

Las fracciones proteínicas más afectadas por la congelación fueron la misosina y las sarcoplásmicas - colágeno, ya que en los termogramas se observaron cambios en los valores de ΔH , y estos se relacionan con la disminución en la concentración de grupos sulfhidrilo y por ende la formación de puentes disulfuro provocó la formación de agregados proteínicos de alto peso molecular entre estas dos fracciones.

IV.2.1.2 Chambarete

El Chambarete presenta mayor dureza en comparación a los demás cortes, se sabe que es un corte con mayor proporción de colágeno por lo que presentó mayor resistencia a la desnaturalización por el efecto de la congelación (Potekhin et al. 2009). En la Figura 22 se muestra el seguimiento de los perfiles calorimétricos determinados a diferentes tiempos durante el almacenamiento en congelación, se observan cuatro transiciones, se puede considerar que al ser un corte con mayor proporción en colágeno se diferencia una señal propia para esta proteína, sin embargo, al ser una transición muy pequeña no se consideró como una transición individual, por lo que se integró dentro de las proteínas sarcoplásmicas-colágeno, dejando tres transiciones a analizar.

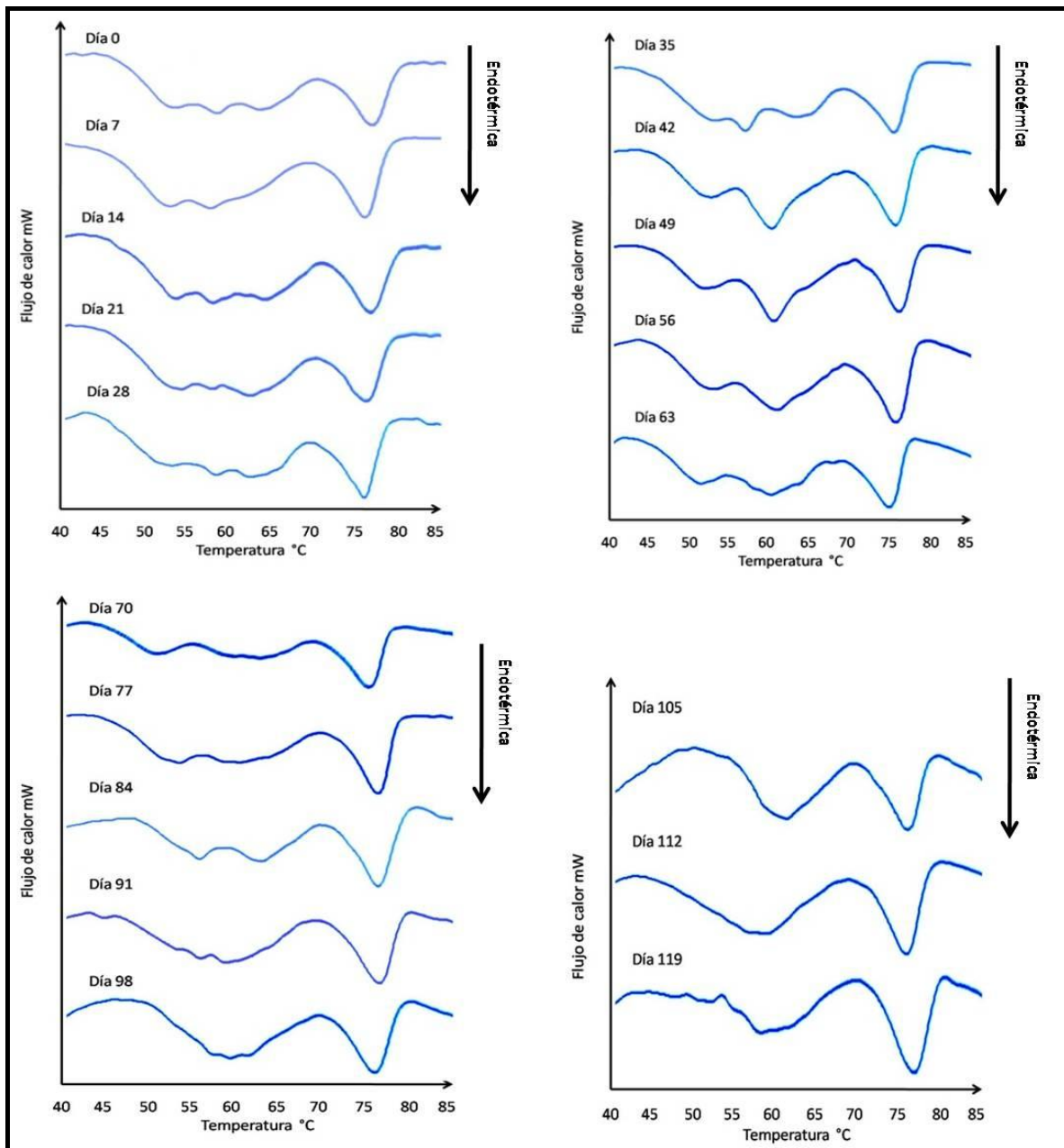


Figura 22.- Termogramas del estudio de las proteínas del corte Chambarete durante su almacenamiento en congelación (-18 °C)



El comportamiento que se presentó en este corte fue distinto, las proteínas sarcoplásmicas-colágeno presentaron una tendencia de incremento en el valor de ΔH (Ver Tabla 11). El colágeno al ser una proteína más estable ante la desnaturalización térmica presentó mayor resistencia ante los cambios provocados por la congelación, este efecto se vio reflejado en un aumento en la energía de desnaturalización con respecto al tiempo. Por otro lado en la miosina y actina se observó que el valor de ΔH disminuyó 70% y 30% respectivamente.

En el termograma del día 42 se observó que las proteínas sarcoplásmicas - colágeno registran una sola transición con un valor de ΔH mayor en comparación con los días anteriores. Se ha reportado que cuando se forman puentes disulfuro en una proteína que está siendo desnaturalizada se incrementa su valor de ΔH porque los estados intermedios llegan a ser igual de estables que la estructura nativa, ello depende del grado de desnaturalización (Schubring, 1999).

Posteriormente en el día 56 la transición dada por las proteínas sarcoplásmicas-colágeno dio una señal más ancha hasta el día 91 donde se fusionó con la transición de miosina, generando una señal que abarcó ambas proteínas (miosina y sarcoplásmicas - colágeno). Si se relacionan estos resultados con la concentración de grupo amino y sulfhidrilo (Ver Anexo B y C) se observó que la concentración disminuyó de manera significativa 50% por lo que se confirma la desnaturalización de las fracciones proteínicas.



En los termogramas posteriores a l día 91 se observó que la señal debida al traslape de miosina - sarcoplásmicas - colágeno disminuyó gradualmente. La actina presentó el mismo comportamiento que en el corte Bola, fue la proteína con la mayor resistencia ante la desnaturalización por congelación su valor de ΔH solo disminuyó 20% y su transición permaneció bien definida durante todo el tiempo de estudio.

IV.2.1.3 Cuete

El Cuete fue el corte con los valores de ΔH grandes para las fracciones de miosina y actina (1.10 y 0.49 J/g de carne) en comparación con el resto de los cortes (Ver Tabla 10 y 12). Los cambios que se observaron en las transiciones dadas por estas dos proteínas fueron, ensanchamiento en las señales y disminución del 40 y 25% en el valor de ΔH respectivamente con respecto al valor inicial.

Por otro las proteínas sarcoplásmicas-colágeno fueron las más afectadas por la congelación, su valor de ΔH disminuyó 60%. En la Figura 23 se muestra que los perfiles calorimétricos permanecieron bien definidos hasta el último día de trabajo por lo que se podría decir que a pesar de la disminución en el valor de ΔH el Cuete fue el corte que presentó que mayor resistencia a la congelación.

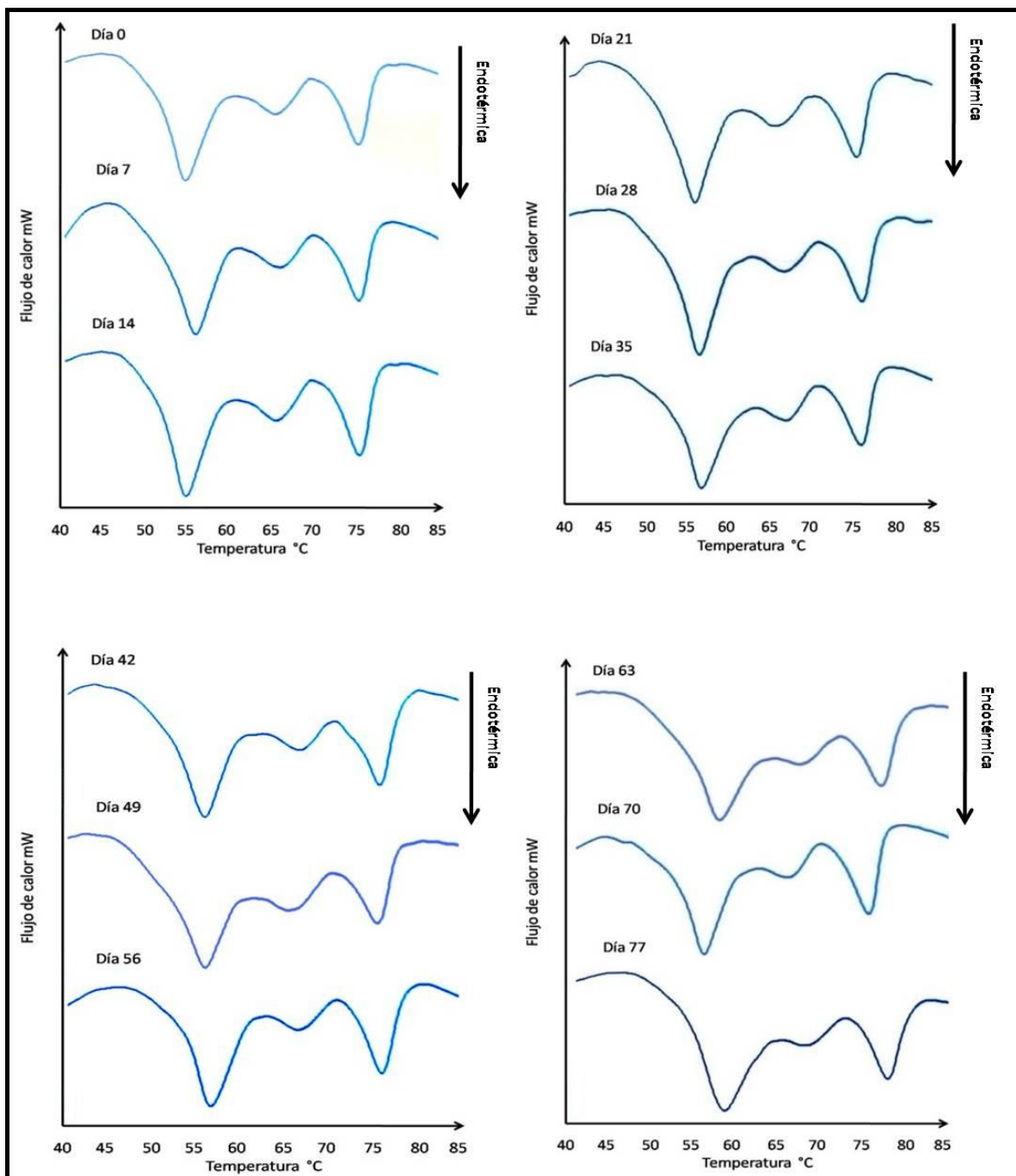


Figura 23.- Termogramas del estudio de las proteínas del corte Cuete durante su almacenamiento en congelación (-18°C)

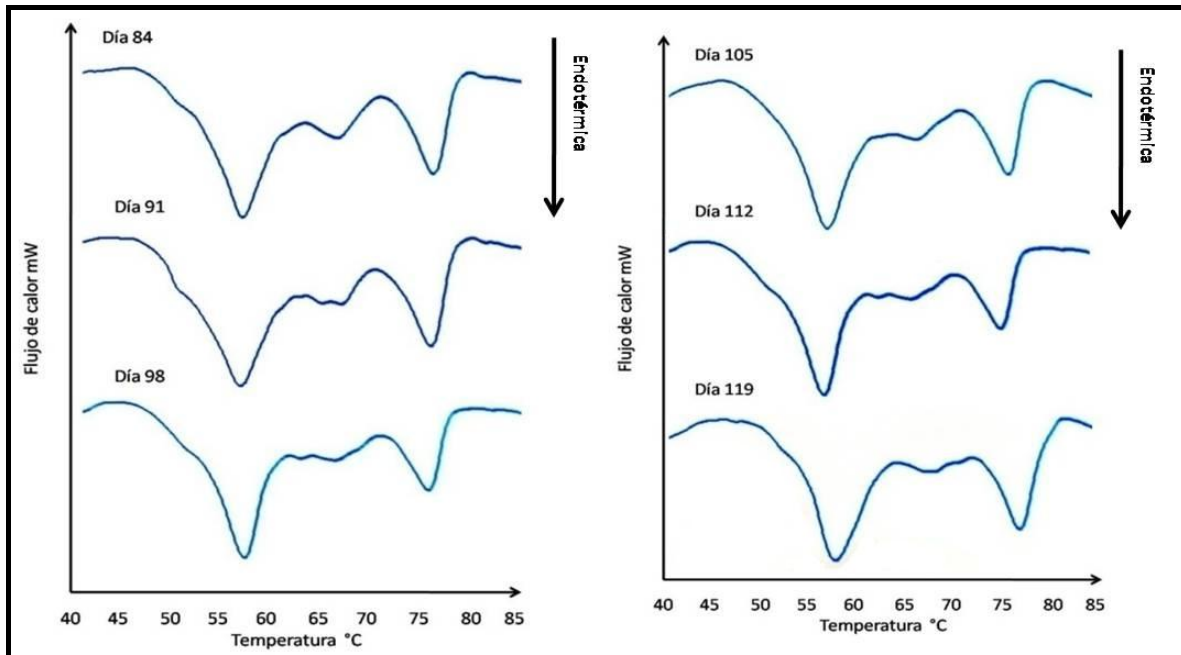


Figura 23.- Termogramas del estudio de las proteínas del corte Cuete durante su almacenamiento en congelación (-18°C)

IV.2.1.4 Filete

El filete es uno de los cortes de mayor precio debido a las características que presenta como por ejemplo su ternura, suavidad y jugosidad, por lo que su conservación debe ser lo más cuidadosa posible para no afectar estas características sensoriales que le dan la peculiaridad que posee. La congelación no es el método más recomendado para conservar cortes como este con valor agregado, debido a los defectos que provoca.



En los perfiles calorimétricos del Filete (Figura 24) se observó que la miosina y sarcoplásmicas-colágeno presentaron mayor grado de desnaturalización por congelación, sus transiciones cambiaron continuamente, las señales se fueron ensanchando durante los primeros días de estudio. En el día 56 se fusionaron ambas proteínas dando como resultado una transición, posteriormente a partir del día 77 el valor de ΔH dado por la señal de ambas proteína disminuyó un 30% con respecto al día 63, lo que indica que las proteínas se desnaturalizaron por la baja temperatura. A partir del día 77 el ancho del pico para miosina y sarcoplásmicas-colágeno disminuyó dando una transición más fina la cual fue desapareciendo con tiempo, su valor de ΔH disminuyó hasta que la transición no fue cuantificable.

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron se puede decir que el método de congelación afecta de manera significativa a las proteínas, miosina y sarcoplásmicas-colágeno, mientras que la actina ha presentado el mismo comportamiento en los cortes que se han estudiado hasta el momento. La actina es una proteína que presentó mayor resistencia ante este método de conservación, se observó su valor de ΔH disminuyó como máximo hasta un 30 % pero su transición permaneció prácticamente constante durante el tiempo de almacenamiento. Seguramente si los cortes se almacenan por más tiempo podría observarse una mayor desnaturalización para la actina pero en los 120 días en que permaneció bajo estas condiciones no se observaron mayores cambios.

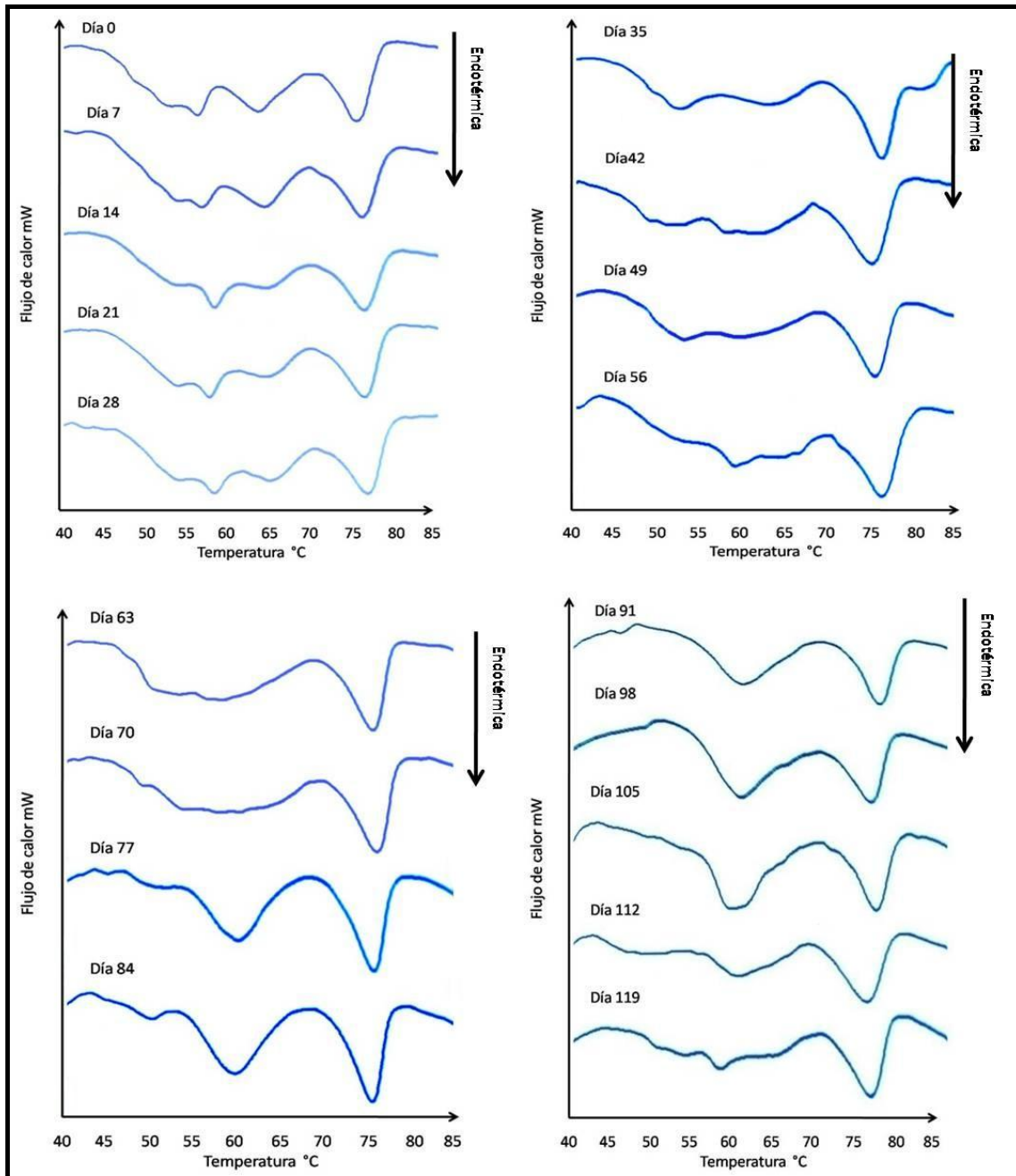


Figura 24.- Termogramas del estudio de las proteínas del corte Filete durante su almacenamiento en congelación (-18°C)



IV.2.1.5 Sirloin

Finalmente en Sirloin se observó que el valor de ΔH de la miosina y sarcoplásmicas-colágeno disminuyó hasta un 60%. Una característica que no se observó con el resto de los cortes es que la miosina presenta una transición con dos señales de fusión lo que podría indicar la presencia de dos proteínas o dos subunidades con características fisicoquímicas semejantes que se desnaturalizan a temperaturas muy cercanas, mientras que en la actina se observó también una disminución considerable en el valor de ΔH (20%); sin embargo, el registro se definió bastante bien durante todo el tiempo de estudio.

Par el día 28 desapareció este comportamiento que venía presentando la miosina, el perfil calorimétrico cambió y permaneció prácticamente constante hasta el día 77 donde se observó que la transición se ensanchó y el valor de ΔH para las proteínas sarcoplásmicas -colágeno fue prácticamente de 0. La señal pierde definición, se ensancha hasta que se pierde con el tiempo, lo mismo sucede con la actina, de tal forma que para el día 105 ambos picos se fusionan dando una sola transición correspondiente a estas dos proteínas.

Finalmente para el día 119 la señal dada por la fusión de miosina, sarcoplásmicas-colágeno se pierde, la única transición que permanece definida es la actina, donde a pesar de la disminución en el valor de ΔH , la definición de la señal es buena en comparación a los días anteriores del estudio.

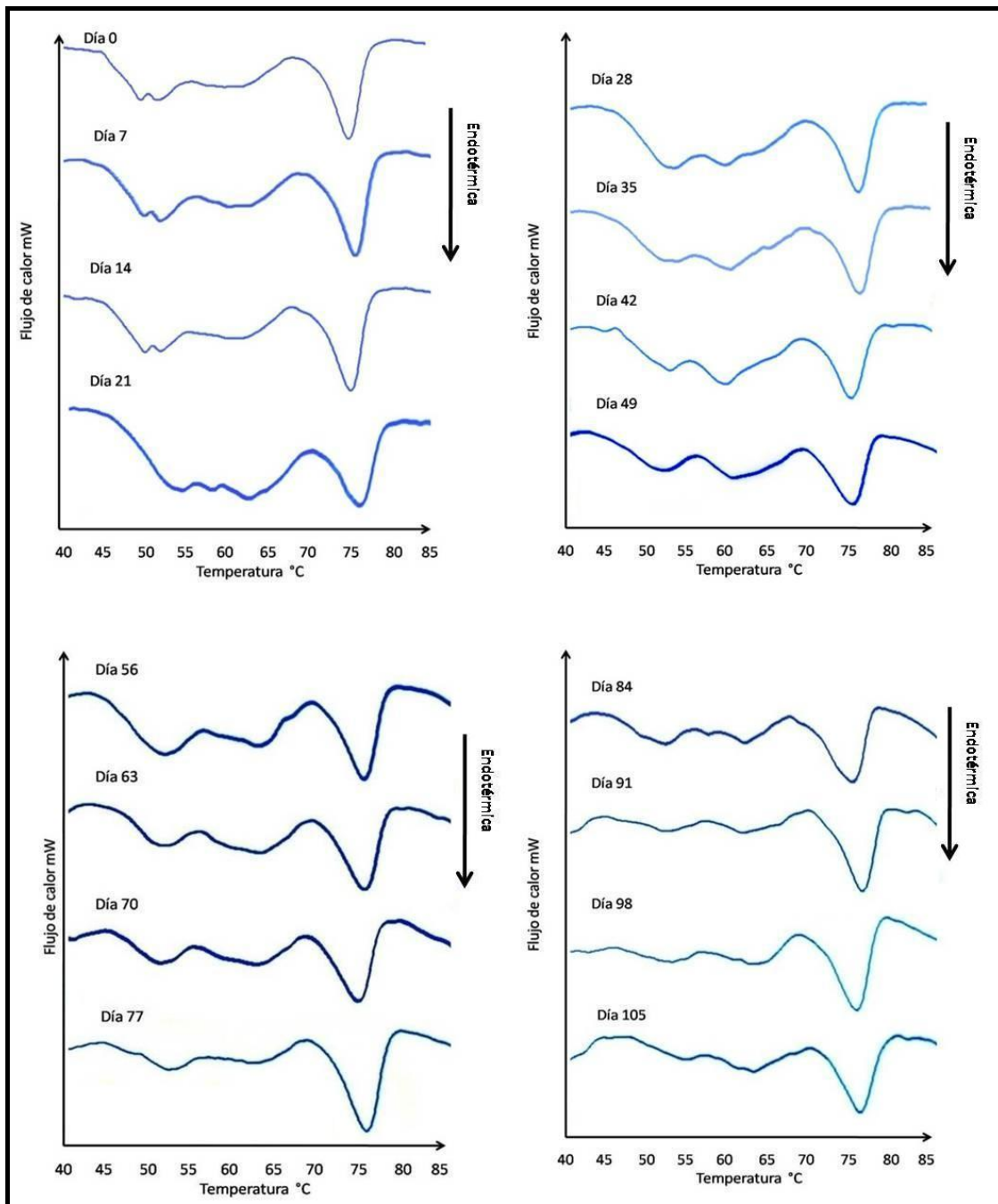


Figura 25.-Termogramas del estudio de las proteínas del corte Sirloin durante su almacenamiento en congelación (-18°C)

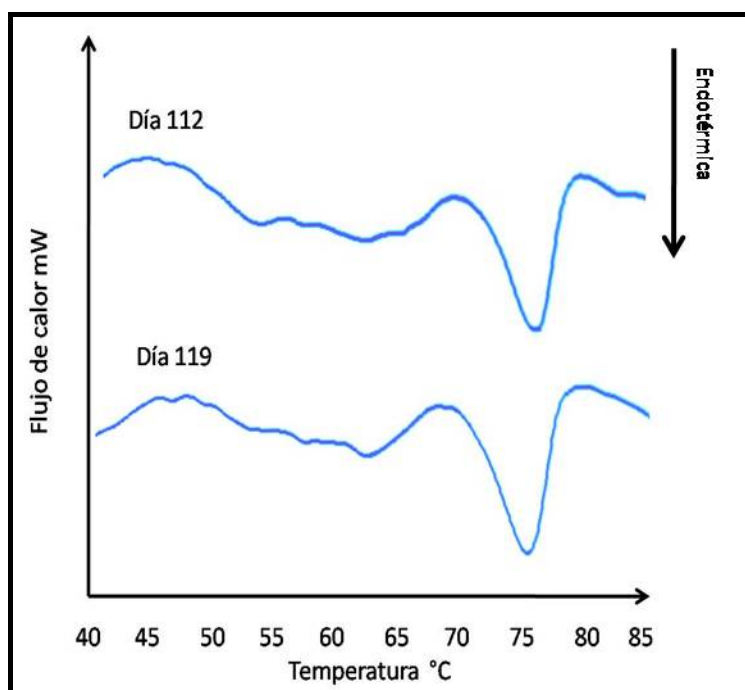


Figura 25.- Termogramas del estudio de las proteínas del corte Sirloin durante su almacenamiento en congelación (-18°C)

De manera general se puede resumir que las proteínas que sufrieron mayor daño en la mayoría de los cortes por el efecto de la congelación fueron la miosina y sarcoplásmicas - colágeno. En los cortes Bola, Chambarete, Filete y Sirloin se presentaron fusiones de estas dos proteínas, lo cual provocó un incremento en el valor de entalpía. La formación de puentes disulfuro por la desnaturalización de las proteínas fue la responsable del incremento en el valor de entalpía.



Estos resultados se correlacionan con la disminución en la concentración de grupo amino y sulfhidrilo y por ende la disminución en la proteína soluble. La actina fue la proteína que presentó mayor resistencia ante la congelación, en los cinco cortes su transición se observó definida hasta el último día del estudio aunque su valor de entalpía si disminuyó con el tiempo. A continuación en las Tablas 10, 11 y 12 se resumen los resultados de los valores de ΔH del estudio de las proteínas de los diferentes cortes estudiados en congelación.

Tabla 10. Estudio de los cambios del valor de ΔH (J/g carne) de la miosina de carne de diferentes carne de bovino

Tiempo (Días)	Cortes de carne de bovino				
	Chambarete	Cuete	Sirloin	Filete	Bola
0	0.40	1.10	0.26	0.42	0.20
7	0.24	0.99	0.27	0.42	0.19
14	0.24	0.99	0.26	0.40	0.22
21	0.22	1.12	0.22	0.40	0.18
28	0.20	1.15	0.21	0.39	0.18
35	0.17	0.96	0.20	0.36	0.20
42	0.14	0.97	0.15	0.25	0.19
49	0.13	0.86	0.19	NC	0.18
56	0.13	0.78	0.24	NC	0.15
63	0.13	0.76	0.16	NC	NC
70	0.13	0.76	0.16	NC	NC
77	0.11	0.75	0.15	NC	NC
84	0.10	0.68	0.12	NC	NC
91	NC	0.65	0.10	NC	NC
98	NC	0.63	0.09	NC	NC
105	NC	0.63	0.07	NC	NC
112	NC	0.62	NC	NC	NC
119	NC	0.63	NC	NC	NC

Los datos representan los promedios \pm desviación estándar de triplicados, C.V. < 5%.
NC: no cuantificados



Tabla 11. Estudio de los cambios del valor de ΔH (J/g carne) de las proteínas sarcoplásmicas y colágeno de diferentes cortes de carne de bovino

Tiempo (Días)	Cortes de carne de bovino				
	Chambarete	Cuete	Sirloin	Filete	Bola
0	0.13	0.12	0.19	0.18	0.30
7	0.13	0.13	0.18	0.18	0.30
14	0.13	0.17	0.18	0.15	0.28
21	0.27	0.18	0.21	0.15	0.25
28	0.20	0.18	0.18	0.15	0.22
35	0.22	0.15	0.18	0.13	0.18
42	0.32	0.17	0.20	0.14	0.14
49	0.32	0.18	0.22	NC	0.14
56	0.29	0.17	0.20	NC	0.14
63	0.27	0.16	0.17	NC	NC
70	0.27	0.16	0.17	NC	NC
77	0.25	0.14	0.09	NC	NC
84	0.23	0.12	0.13	NC	NC
91	NC	0.11	0.11	NC	NC
98	NC	0.11	0.11	NC	NC
105	NC	0.09	0.11	NC	NC
112	NC	0.09	NC	NC	NC
119	NC	0.04	NC	NC	NC

Los datos representan los promedios \pm desviación estándar de triplicados, C.V. < 5%.
NC: no cuantificados



Tabla 12. Estudio de los cambios en el valor de ΔH (J/g carne) la actina de diferentes cortes de carne de bovino durante la congelación

Tiempo (Días)	Cortes de carne de bovino				
	Chambarete	Cuete	Sirloin	Filete	Bola
0	0.48	0.49	0.65	0.49	0.47
7	0.57	0.54	0.67	0.53	0.47
14	0.57	0.54	0.67	0.46	0.47
21	0.45	0.54	0.61	0.47	0.47
28	0.47	0.54	0.61	0.47	0.48
35	0.45	0.48	0.51	0.48	0.47
42	0.43	0.50	0.51	0.43	0.46
49	0.42	0.44	0.50	0.40	0.46
56	0.42	0.48	0.51	0.40	0.45
63	0.42	0.44	0.47	0.40	0.42
70	0.43	0.44	0.46	0.41	0.42
77	0.42	0.42	0.50	0.39	0.39
84	0.45	0.42	0.47	0.39	0.39
91	0.48	0.42	0.43	0.38	0.40
98	0.46	0.39	0.43	0.36	0.43
105	0.43	0.38	0.43	0.35	0.39
112	0.40	0.38	0.40	0.33	0.39
119	0.40	0.36	0.40	0.30	0.39

Los datos representan los promedios \pm desviación estándar de triplicados, C.V. < 5%.
NC: no cuantificados

IV.2.2 Evaluación de la reactividad de los principales grupos funcionales de las proteínas: amino, sulfhidrilo

Una de las propiedades funcionales más importantes que se ven afectadas por el almacenamiento en congelación es la solubilidad. Se ha reportado que ésta disminuye debido a que las proteínas al desnaturalizarse pierden el plegamiento, se abren provocando la exposición de residuos hidrofóbicos disminuyendo la interacción de los residuos hidrofílicos con el disolvente (Farouk & Swan, 1998; Thanonkaew et al. 2006).



Durante el proceso de desnaturalización las proteínas tienden a regresar a su estructura nativa y conseguir una mayor estabilidad termodinámica por lo que en este equilibrio se dan interacciones proteína - proteína que permiten establecer la reactividad de los principales grupos funcionales y dar paso a las reacciones de entrecruzamiento (Smeller, 1999).

El grupo amino presente en las proteínas, péptidos y aminoácidos es un residuo altamente reactivo que tiende a reaccionar con centros nucleofílicos, alguno de ellos provenientes de la oxidación de los lípidos para formar productos de base de Schiff provocando así una disminución en la concentración de los grupos amino libres (Thanonkaew et al. 2006; Gardner, 1979; Benjakul et al. 1997; Eymard, 2009; Ostdal et al. 2002).

En la Figura 26 se resumen los resultados del estudio de la concentración de grupo amino en los diferentes cortes de carne de bovino. Se observa que el Cuete fue el corte con mayor constante de velocidad seguido de Bola y Chambarete que presentaron el mismo comportamiento cinético. Finalmente Sirloin y Filete fueron cortes con constantes de velocidad más pequeñas con respecto al resto de los cortes en estudio.

Uno de los aspectos importantes que cabe resaltar independientemente de que corte presentó un comportamiento en particular, todos se ajustaron a una cinética de primer orden. Esta cinética es característica de la reactividad que presentan los macrocomponentes de los alimentos durante su almacenamiento en congelación.

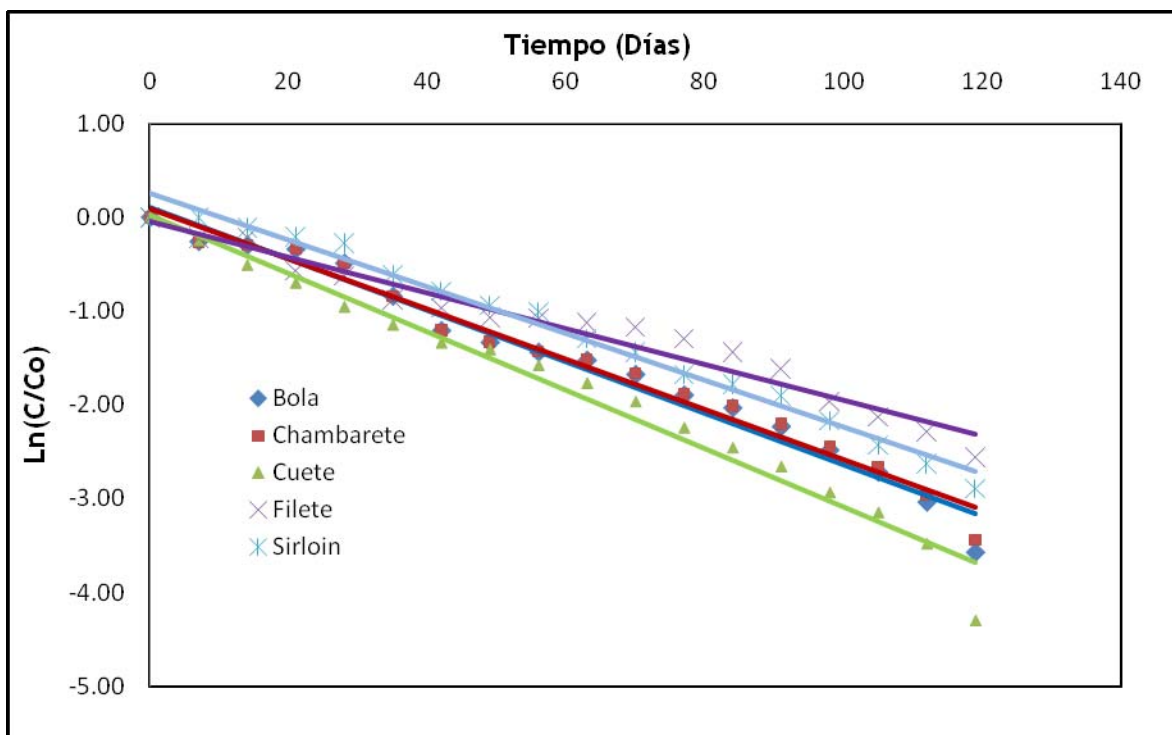


Figura 26.- Cinética de primer orden para la disminución en la concentración de grupo amino de los diferentes cortes.

En la Tabla 22 (Ver Anexo B) se resumen los valores de concentración de grupo amino que se cuantificaron durante el tiempo de almacenamiento. Se realizó un análisis de varianza seguido de una prueba de rango múltiple de Duncan para comprobar que existe diferencia entre los resultados en el mismo día para los diferentes cortes. El análisis mostró que si existe diferencia significativa estadísticamente entre la concentración de grupo amino de los diferentes cortes a excepción de los días 84 y 91 donde no se observó diferencia significativa estadísticamente entre la concentración de los cortes Cuete y Bola.



En la Figura 26 se observa que el Cuete fue el corte que presentó una mayor velocidad en la disminución de la concentración de grupo amino, seguido de la Bola y Chambarete con valores semejantes de k y finalmente Sirloin y Filete. Para determinar la velocidad de disminución de grupo amino entre los diferentes cortes se realizaron los cálculos correspondientes que permitieron determinar el orden de reacción, encontrándose que todos los cortes obedecen a una reactividad de primer orden.

En la Tabla 13 se muestran los resultados de las ecuaciones de regresión lineal para cada corte, se observó que el Sirloin presentó un mejor coeficiente de correlación, seguido de Chambarete, Bola, Cuete y finalmente Filete.

Tabla 13. Resultados de la cinética de primer orden para la disminución en la concentración de grupo amino de los diferentes cortes.

Corte	$y = \ln(C/Co) = a_0 + k x ; a_0 \neq 0$
Bola	$y = 0.1109 - 0.0274x ; R = 0.9977$
Chambarete	$y = 0.0897 - 0.0267x ; R = 0.9812$
Cuete	$y = 0.0290 - 0.0312x ; R = 0.9750$
Filete	$y = -0.0379 - 0.0191x ; R = 0.9624$
Sirloin	$y = 0.2562 - 0.0250x ; R = 0.9874$

C = Concentración de grupo NH_2 en $mmol NH_2 / 100g$ de proteína total

Co = Concentración inicial al tiempo 0 del grupo $mmol NH_2 / 100g$ de proteína total

a_0 = Ordenada al origen (Tiempo cero días)

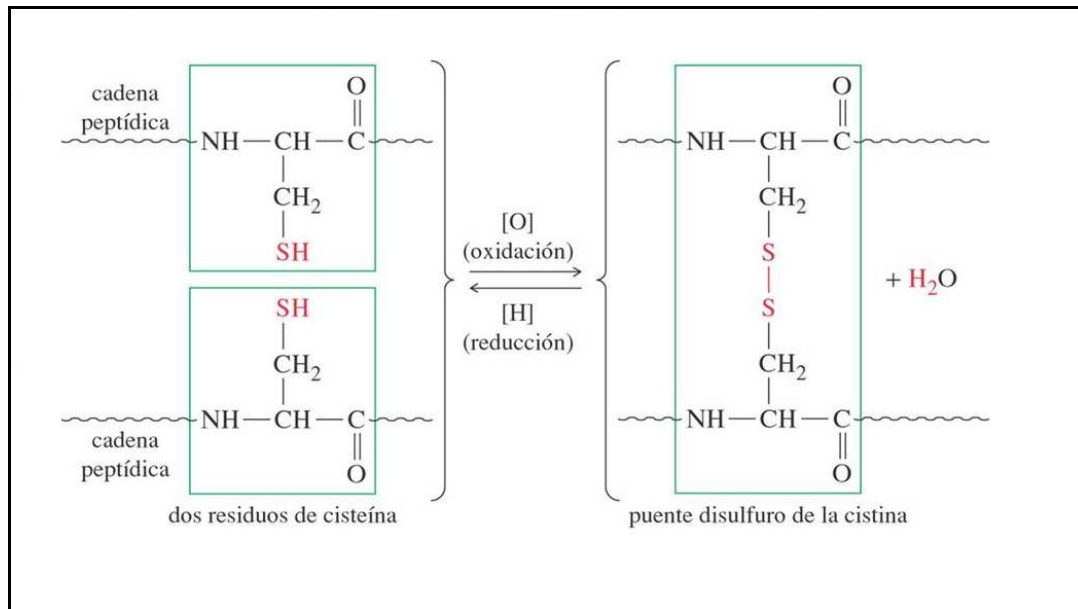
k = Velocidad de deterioro en $días^{-1}$

x = Tiempo en días

R = Coeficiente de correlación



Por otro lado también se cuantifico la concentración de SH, que es otro de los grupos funcionales altamente reactivos. Dependiendo del grado de desnaturalización que experimenten las proteínas se pueden romper los puentes disulfuro, que participan en la formación de una estructura terciaria de la proteína. Una vez que quedan expuestos residuos sulfhidrilo, estas moléculas son lábiles a oxidarse (Ver Figura 27) y formar nuevamente puentes disulfuro o radicales que dan como resultado el entrecruzamiento de las proteínas y por ende cambios en la solubilidad (Benjakul et al. 1997; Eymard, 2009; Thanonkaew et al. 2006)



Fuente: Lehninger, 2001

Figura 27. Oxidación de proteínas y formación de puentes disulfuro



Los resultados del estudio de la concentración de grupo sulfhidrilo se resumen en la Figura 28. Se observa que el comportamiento en la pérdida de grupo SH fue semejante entre los diferentes cortes pero cada uno en diferente magnitud. Se realizó un análisis de varianza seguido de una prueba de rango múltiple de Duncan la cual indica que si existe diferencia significativa en la concentración de grupo sulfhidrilo para los diferentes cortes (Ver Anexo C).

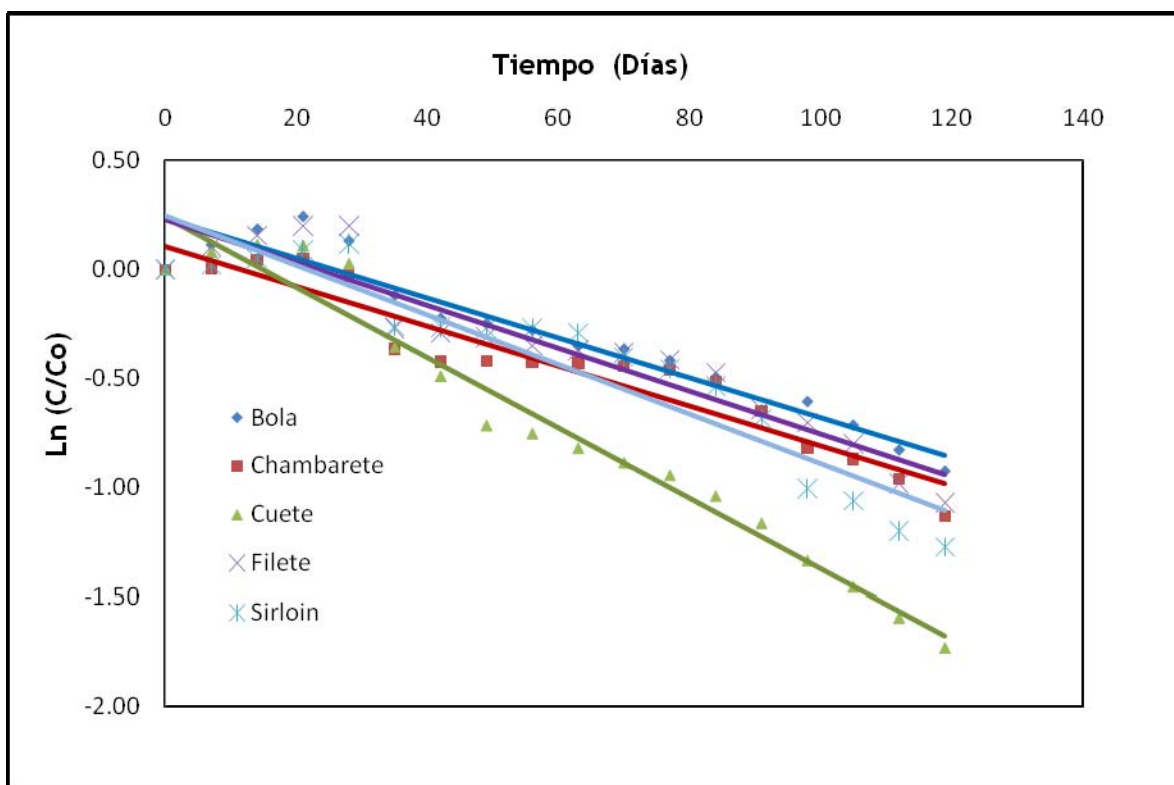


Figura 28. Cinética de primer orden para la disminución en la concentración de grupo sulfhidrilo de los diferentes cortes.



Dadas las condiciones en las que se almacenó la carne es muy probable que los residuos sulfhidrilo se oxiden y formen puentes disulfuro lo que justifica el descenso en la concentración éste comportamiento coincide con lo reportado por Eymard 2008 y Kitima 2005 donde propone que el incremento en la formación de puentes disulfuro provoca una desnaturalización acelerada de la miosina.

Los resultados mostraron que la disminución en la concentración para los diferentes cortes se ajusta a una cinética de primer orden. Los valores de la ecuación así como el coeficiente de correlación obtenido se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados de la cinética de primer orden para la disminución en la concentración de grupo sulfhidrilo de los diferentes cortes.

Corte	$y = \ln(C/Co) = a_0 + k x ; a_0 \neq 0$
Bola	$y = 0.2362 - 0.0092x ; R = 0.9276$
Chambarete	$y = 0.1098 - 0.0092x ; R = 0.9164$
Cuete	$y = 0.2395 - 0.0161x ; R = 0.9643$
Filete	$y = 0.2304 - 0.0098x ; R = 0.8996$
Sirloin	$y = 0.2481 - 0.0114x ; R = 0.8919$

C = Concentración de grupo SH en $\mu\text{mol SH} / 100\text{g}$ de proteína total

Co = Concentración inicial al tiempo 0 del grupo SH en $\mu\text{mol SH} / 100\text{g}$ de proteína total

a₀ = Ordenada al origen (Tiempo cero días)

k = Velocidad de deterioro en días⁻¹

x = Tiempo en días

R = Coeficiente de correlación



Los cortes que presentaron mayores valores en la velocidad de reacción fueron Cuete y Sirloin, posteriormente Filete, Bola y Chambarete. Cabe mencionar que el Cuete y Sirloin son los dos cortes con mayor contenido de grasa, si se considera que en los lípidos se generaron radicales libres, estos pueden sustraer el H del SH o de residuos hidroxilados y formar radicales sulfhidrilos que pueden reaccionar entre sí para formar puentes disulfuro o reacciones de entrecruzamiento.

Este comportamiento coincide con los resultados obtenidos por Kitima (2005) donde reporta que durante las dos primeras semanas de almacenamiento de la carne en congelación los grupos sulfhidrilo de la actomiosina disminuyen significativamente. Un almacenamiento prolongado en congelación provoca cambios en la estructura terciaria de la actomiosina causados por la formación de puentes disulfuro, puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. La velocidad de oxidación de los grupos sulfhidrilo puede llegar a alcanzar un estado de equilibrio cuando ya se agote la concentración de éstos o cuando no presenten reactividad significativa (Kitima, 2005).

Por otro lado se ha reportado también que la hidrólisis del enlace éster que une a los ácidos grasos con el glicerol provoca cambios conformacionales en las proteínas debido a que los ácidos grasos libres pueden interactuar con los grupos sulfhidrilo expuestos a la oxidación. La velocidad de oxidación de las proteínas depende mucho de su estructura y se ha observado que las proteínas globulares son de las más susceptibles a sufrir procesos de oxidación (Dalsgaard, 2007).



Resumiendo los resultados obtenidos, se observa que durante el almacenamiento en congelación se dan cambios conformacionales en las proteínas que provocan la exposición de los grupos sulfhidrilo de la miosina o actomiosina, los cuales son lábiles a sufrir reacciones de oxidación, y formar puentes disulfuro que contribuyen a la desnaturalización de proteínas y producir agregados de alto peso molecular provocando pérdida en la solubilidad de proteínas (Makri, 2008).

La reactividad que se dio en grupo amino y sulfhidrilo repercutió directamente en la solubilidad de las proteínas provocó la formación de agregados proteínicos y por ende una disminución en la solubilidad por lo que también se cuantificó la concentración de proteína soluble en los diferentes cortes. Se ha reportado que al disminuir la solubilidad de las proteínas también se modifican las propiedades funcionales tales como la capacidad de retención de agua, capacidad de emulsificación y capacidad de gelificación. Estos cambios son causados por la desnaturalización y la agregación de proteínas, fenómenos que son inducidos por el almacenamiento en congelación (Sarma et al. 2000).

Otros factores como el efecto hidrofóbico de los ácidos grasos libres sobre las proteínas, la interacción de los productos de la oxidación de los lípidos con aminoácidos específicos como cisteína, lisina, metionina, tirosina, arginina y ácido aspártico influyen en la solubilidad de las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas. Estas interacciones favorecen la hidrofobicidad de las proteínas incrementando así la agregación (Sarma et al. 2000).



Se sabe que las proteínas son las moléculas responsables de la absorción del agua en los alimentos, debido a que presentan numerosos grupos polares a lo largo de la longitud del polipéptido, haciendo a las proteínas fuertemente hidrofílicas, las cuales atraen moléculas de agua formando puentes de hidrógeno (Sarma et al. 2000).

Otros factores que afectan el mecanismo de interacción entre las proteínas y el agua son, conformación y los factores de su entorno que afectan la polaridad y conformación. Esto implica que la capacidad de retención de agua no es una capacidad nata de las proteínas nativas sino también de proteínas que han experimentado cambios conformacionales (Sarma et al. 2000).

En la Figura 29 se muestra el comportamiento de la concentración de proteína soluble con respecto al tiempo de almacenamiento, hay una disminución significativa en todos los cortes, dado que el comportamiento fue semejante entre cortes se realizó un análisis de varianza con una prueba de rango múltiple de Duncan para comprobar si existe diferencia significativa entre la concentración de proteína soluble de los diferentes cortes (Ver Anexo D).

Para determinar la velocidad con la que se disminuyó la concentración de proteína soluble, se realizaron los cálculos cinéticos correspondientes y los resultados se ajustaron a una reacción de primer orden al igual que en las determinaciones anteriores por lo que se puede decir que durante todo el estudio predominó una cinética de deterioro de primer orden. Los resultados se muestran en la Tabla 15.

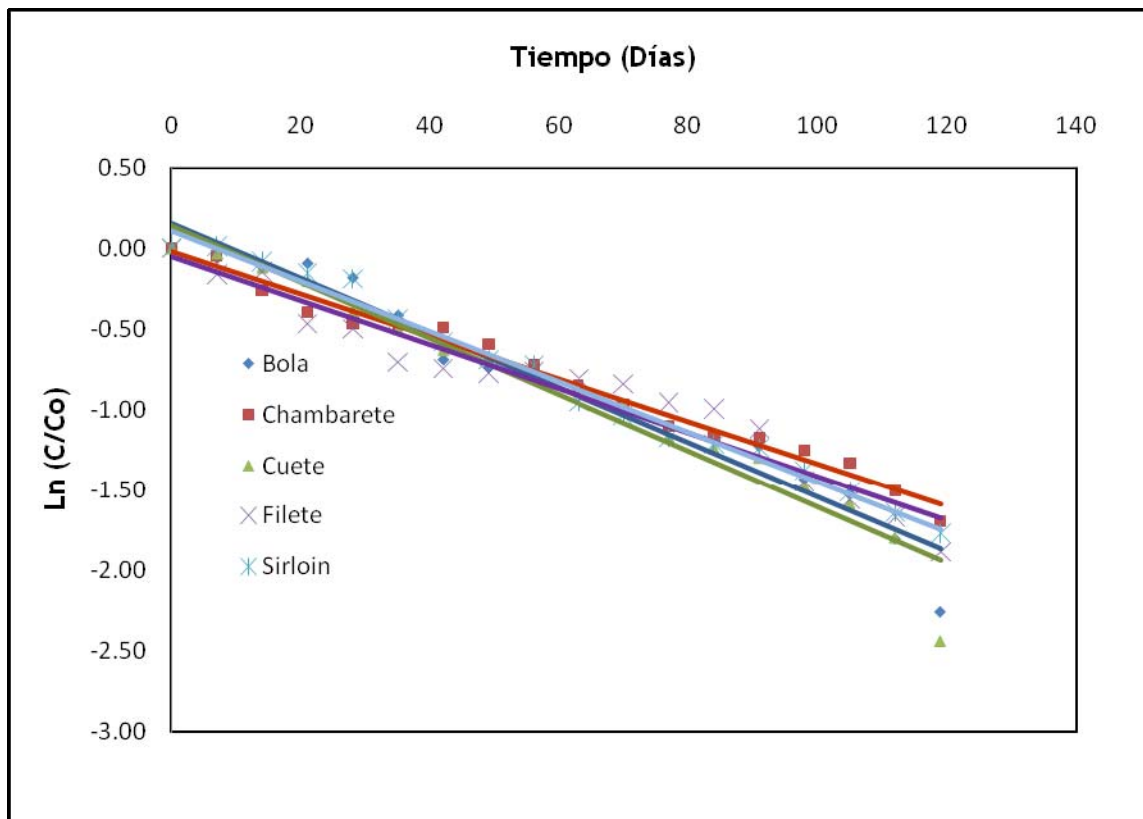


Figura 29. Cinética de primer orden para la disminución en la concentración de proteína soluble de los diferentes cortes.

El corte que presentó mayor deterioro fue el cuete ya que su velocidad de reacción fue mayor además de que presentó el menor valor de proteína soluble al final del estudio (Ver Anexo D). En orden descendente siguió Sirloin, Filete, Chambarete y Bola. Estos resultados indican que los cortes más suaves y con un valor agregado son los más susceptibles a sufrir mayor deterioro a excepción de la Bola, por lo que éstos serían los cortes aptos para realizar el estudio de conservación por altas presiones hidrostáticas debido a las características que presentan y a su valor agregado.



Tabla 15. Resultados de la cinética de primer orden para la disminución en la concentración de proteína soluble de los diferentes cortes.

Corte	$y = \ln(C/Co) = a_0 + k x ; a_0 \neq 0$
Bola	$y = 0.1538 - 0.0170x ; R = 0.9572$
Chambarete	$y = -0.0195 - 0.0132x ; R = 0.9843$
Cuete	$y = 0.1369 - 0.0174x ; R = 0.9522$
Filete	$y = -0.0490 - 0.0137x ; R = 0.9405$
Sirloin	$y = 0.1102 - 0.0156x ; R = 0.9892$

C = Concentración de proteínas soluble g de proteína soluble / 100g de proteína total

Co = Concentración inicial al tiempo 0 de proteína soluble / 100g de proteína total

a₀ = Ordenada al origen (Tiempo cero días)

k = Velocidad de deterioro en días⁻¹

x = Tiempo en días, R = Coeficiente de correlación

Finalmente para englobar los resultados obtenidos en calorimetría de barrido diferencial y reactividad de los grupos funcionales de las proteínas se realizó una electroforesis desnaturizante con gel de acrilamida donde se evaluó la proteína soluble de los cinco cortes en estudio en dos tiempos diferentes, al t₀ y al t₁₂₀ con la finalidad de observar cambios en los pesos moleculares de las diferentes proteínas dados por las reacciones de entrecruzamiento entre proteína-proteína o lípido-proteína.



En la Figura 30 y 31 se observan los resultados de electroforesis y densitometría de los cinco cortes antes de haber sido sometidos al almacenamiento en congelación. Se observan las bandas características de las proteínas de actina (42-48 kDa) y miosina (>100 kDa). La mayoría de las proteínas presentan pesos moleculares entre 39 y 45 kDa (Ver Tabla 16). Este gel fue el patrón de comparación para evaluar la formación de agregados de alto peso molecular después que los diferentes cortes fueron almacenados en congelación durante 120 días.

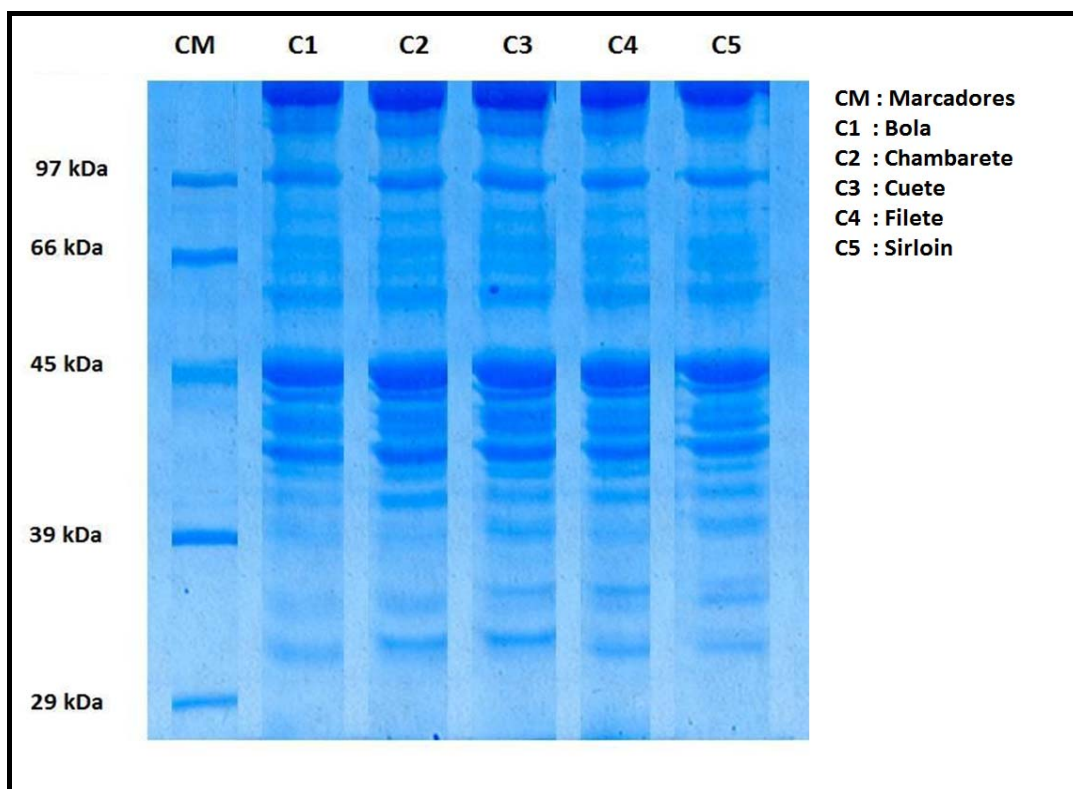


Figura 30. Electroforesis desnaturalizante en gel de acrilamida para los diferentes cortes de carne de bovino al t_0

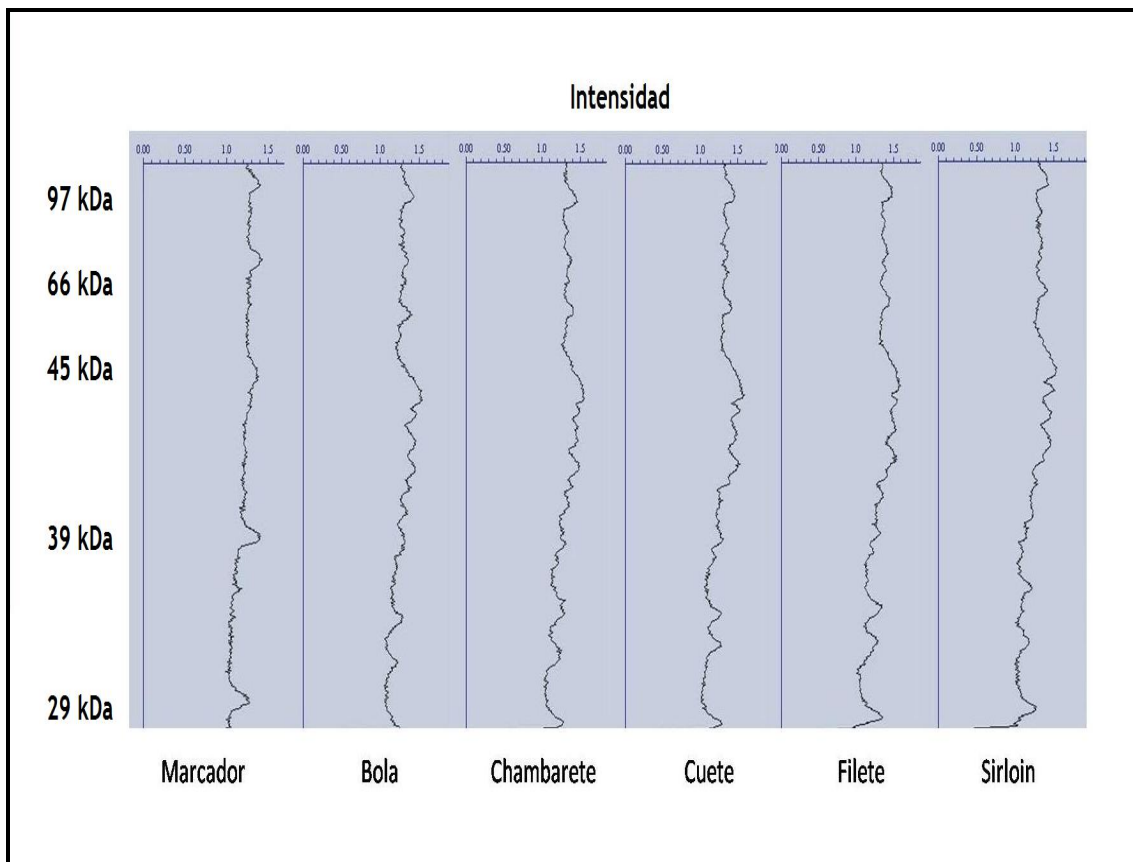


Figura 31. Densitometría de las proteínas presentes en los diferentes cortes de carne de bovino al t_0



Tabla 16. Pesos moleculares de las proteínas presentes en los diferentes cortes de bovino al t_0

PM (kDa)	Bola	Chambarete	Cuete	Filete	Sirloin
120-140	128.56	123.99	127.4	125.67	133.7
100-120	98.8	96.52	99.48	100.08	105.67
80-100	82.01	82.51	84.52	---	90.32
60-80	71.39	70.96	74.24	74.69	63.14
	---	---	67.61	67.61	---
40-60	59.09	59.21	46.03	47.27	49
	45.43	45.6	49.8	44.68	46.12
	43.36	43.67	41.31	41.9	43.17
	40.55	41.31	---	---	40.37
20-40	38.13	38.29	38.62	39.12	36.74
	36.49	36.43	32.36	37.48	34.11
	34.36	35	30.76	35.66	32.59
	32.03	31.85	27.1	32.78	30.96
	30.23	27.13	25.26	31.31	28.7
	26.76	24.6	21.05	27.48	25.3
	24.15	20.99	---	25.44	21.62
	20.91	---	---	21.35	---

En la Figura 32 y 33 se observan los resultados de electroforesis y densitometría de los cinco cortes después de haber sido almacenados en congelación durante 120 días. De manera general se puede decir que hay mayor cantidad de proteínas con pesos moleculares entre 45-97 kDa lo cual no se observaba en el gel anterior, esto confirma que se originaron agregados proteínicos por las reacciones de entrecruzamiento.



Las bandas de mayor peso molecular (66-97kDa) se observan más intensas en comparación con el gel del t_0 (Ver Tabla 17). Resumiendo todos los resultados hasta el momento se puede decir que efectivamente una de las reacciones que más predomina en la matriz cárnica durante su almacenamiento en congelación es la oxidación de los residuos de SH para formar puentes disulfuro además de que los lípidos o productos de la oxidación de éstos también pueden reaccionar para formar agregados de proteínas de mayor peso molecular, lo cual provocó disminución en los valores de concentración de proteína soluble y los principales grupos funcionales de las proteínas así como los productos secundarios de la oxidación de los lípidos.

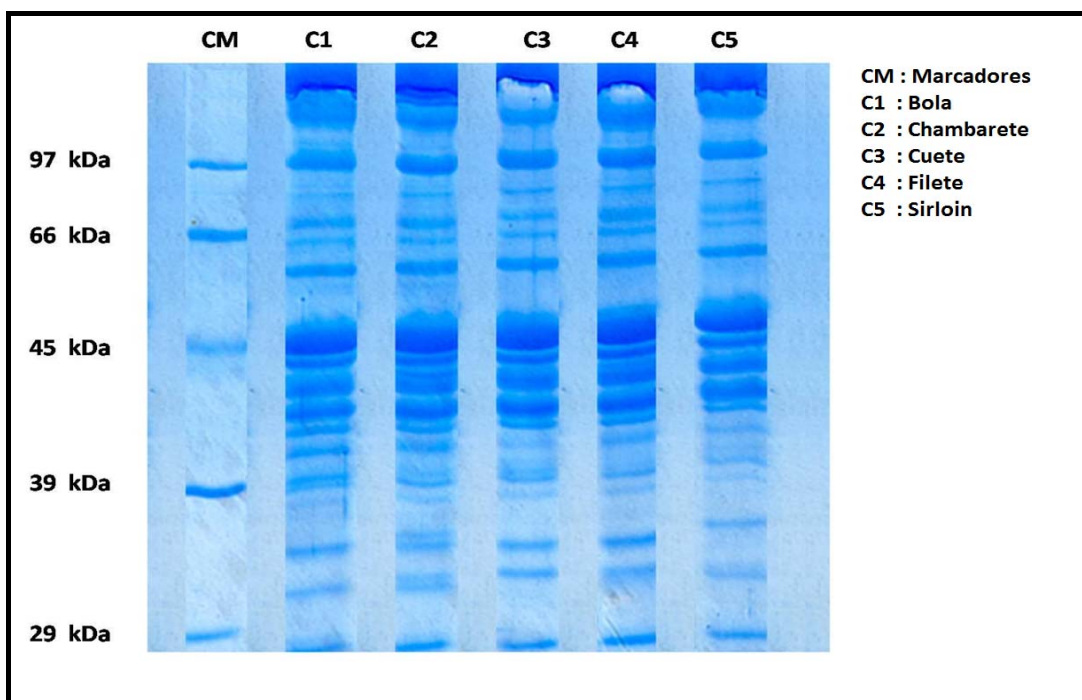


Figura 32. Electroforesis desnaturante en gel de acrilamida para los diferentes cortes en estudio al t_{120}

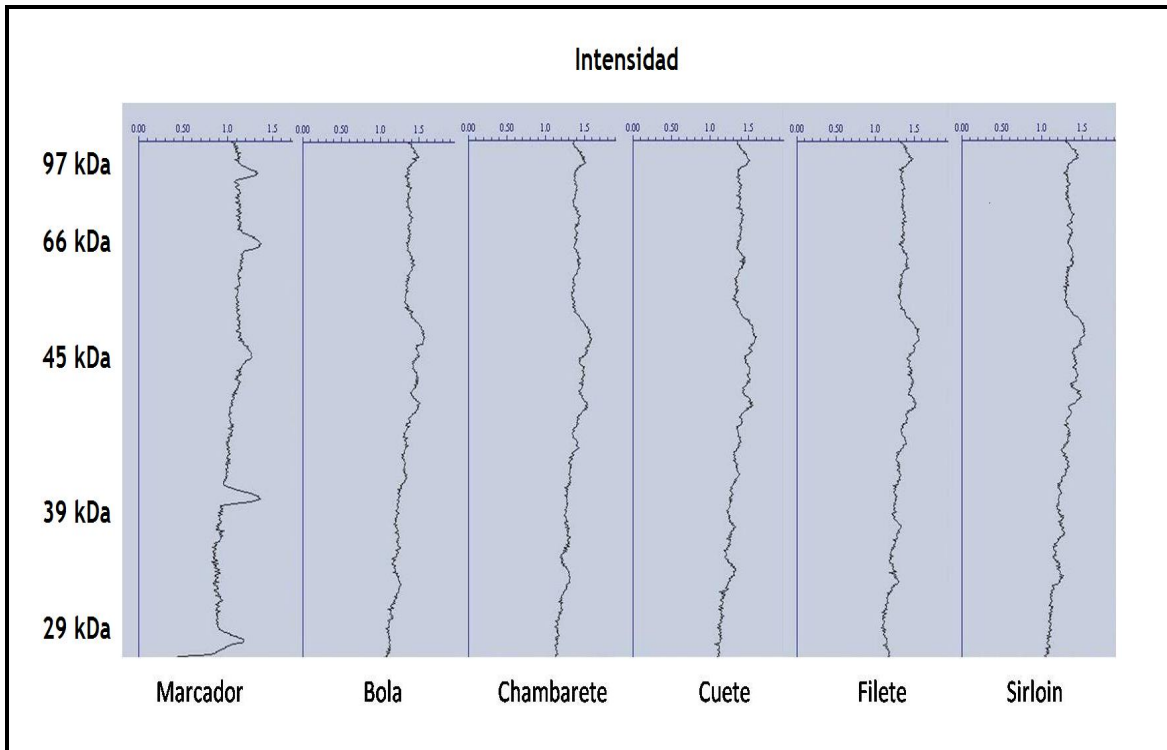


Figura 33. Densitometría de las proteínas presentes en los diferentes cortes de carne de bovino al t_{120}



Tabla 17. Pesos moleculares de las proteínas presentes en los diferentes cortes de bovino al t₁₂₀

140-160	148.46	154.72	147.16	149.76	---
120-140	130.02	127.74	128.12	127.37	---
100-120	---	---	---	---	100.02
80-100	99.72	95.98	96.54	98.27	70.64
60-80	70.64		58.79	66.58	
	58.24	58.66	44.52	58.57	59.48
	49.16	44.52	41.2	44.76	45.51
40-60	44.94	43.12	---	---	44.44
	42.83	40.71	---	---	---
	40.49	---	---	---	---
	37.68	37.47	39.96	37.83	38.44
	31.33	33.95	37.63	38.15	34.87
20-40	26.68	31.12	34.31	31.42	32.27
	24.09	26.58	31.33	27.63	27.28
	---	24.34	27.49	24.79	24.4
	---	---	24.75	24.15	---

IV.2.3 Valoración de la rancidez oxidativa de los lípidos: análisis cualitativo de radicales libres, cuantificación de peróxidos y compuestos carbonílicos

Hasta el momento todas las determinaciones se centraron en explicar la reactividad de los principales grupos funcionales de las proteínas, ahora solo resta analizar la reactividad que se dio en la fracción lipídica. Se sabe que los lípidos experimentan reacciones de rancidez hidrolítica y oxidativa, ambas se ven favorecidas por factores pro-oxidantes tales como la presencia de agua, metales, luz y oxígeno.



Durante el almacenamiento en congelación la formación de cristales provoca daño celular, el cual puede causar hidrólisis de los lípidos y la liberación de ácidos grasos (Makri, 2008). Las reacciones hidrolíticas se caracterizan por el aumento en la acidez de la grasa, es decir la liberación de los ácidos grasos del triglicérido dada por la hidrólisis enzimática o química del enlace éster que une al ácido graso con el glicerol.

Una que vez que se ha liberado el ácido graso, éste es susceptible a sufrir reacciones de oxidación porque ya no tiene impedimento estérico para que se formen radicales en las insaturaciones de la cadena aunque este proceso se puede llevar acabo de igual forma en los ácidos grasos presentes en el triglicérido. Dadas las condiciones en las cuales se almacenó la carne, las reacciones de rancidez hidrolítica se ven disminuidas por la baja temperatura y la disminución en el valor de aw. Ambos factores disminuyen la actividad de las lipasas, sin embargo bajo estas mismas condiciones se ha observado un incremento en las reacciones de rancidez oxidativa, por lo que se realizó un seguimiento de los principales productos en sus diferentes etapas.

La primera etapa de las reacciones de rancidez oxidativa es la iniciación y se caracteriza por la formación de radicales libres como peroxi, alcoxi e hidroxil que a su vez forman hidroperóxidos y peróxidos que son los productos característicos de esta etapa (Sarma et al. 2000; Eymard, 2009; Gardner, 1979; Ostidal, 2002). La segunda etapa es la propagación donde se presenta un crecimiento significativo en concentración de peróxidos y además se empiezan a generar en bajas concentraciones compuestos carbonílicos originados por la ruptura de los radicales.



La última etapa es la terminación donde la concentración de peróxidos es mínima debido a que la mayoría de estas moléculas reaccionaron para dar como resultado una abundante concentración de compuestos carbonílicos responsables de aromas y sabores rancios.

Es importante mencionar que dada la complejidad de la matriz con la que se trabajó es difícil aislar la reactividad de los macrocomponentes, se ha reportado que los productos primarios y secundarios de la oxidación de lípidos pueden modificar las proteínas induciendo reacciones de entrecruzamiento y desnaturalización, o reaccionar con aminoácidos de interés nutricional, disminuyendo la calidad nutricional y funcionalidad de las proteínas (Eymard, 2008, Makri, 2008)

IV.2.3.1 Resonancia Paramagnética Electrónica

La técnica de Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE) permitió observar la presencia de radicales libres que son generados durante el proceso oxidativo de los lípidos. Se basa en la respuesta que presentan estos radicales cuando son sometidos a un campo magnético (Papadimitriu et al. 2006).

En el presente trabajo se realizó un análisis cualitativo de la presencia de radicales libres en los diferentes cortes de res, esta parte se realizó en las instalaciones de la USAI de la Facultad de Química de la UNAM.



Cabe recordar que solo se realizaron tres determinaciones: t_0 , t_{60} y t_{120} . En las Figuras 34, 35 y 36 se resumen los espectros de RPE obtenidos para los diferentes cortes, el comportamiento que se observa fue similar entre los cortes, los radicales fueron incrementando con respecto al tiempo de almacenamiento, los cortes Cuete, Bola y Sirloin fueron los que presentaron una intensidad más elevada en los espectros de RPE, este resultado fue básicamente congruente con el Índice de Peróxidos que se discutirá más adelante.

Los resultados obtenidos coinciden con las etapas de rancidez oxidativa, primero se generan los radicales libres y éstos al ser altamente reactivos forman peróxidos los cuales reaccionan para dar lugar a especies reactivas más estables que son los compuestos carbonílicos que son responsables de los aromas característicos de rancidez.

Se ha reportado que las proteínas en las celulares musculares se encuentran en altas concentraciones por lo que pueden formar de radicales libres en los grupos hidroxilo y sulfhidrilo y éstos a su vez reaccionar con especies reactivas de oxígeno y radicales provenientes de la oxidación lipídica (Eymard, 2008).

En la Figura 34 se observa que al inicio del estudio es mínima la intensidad que se genera por la mínima presencia de radicales. Los cortes con mayor intensidad fueron los de mayor contenido lipídico, Cuete, Sirloin y Bola. Por otro lado el Filete y el Chambarete son cortes con bajo contenido de grasa y la intensidad que presentaron es mínima.

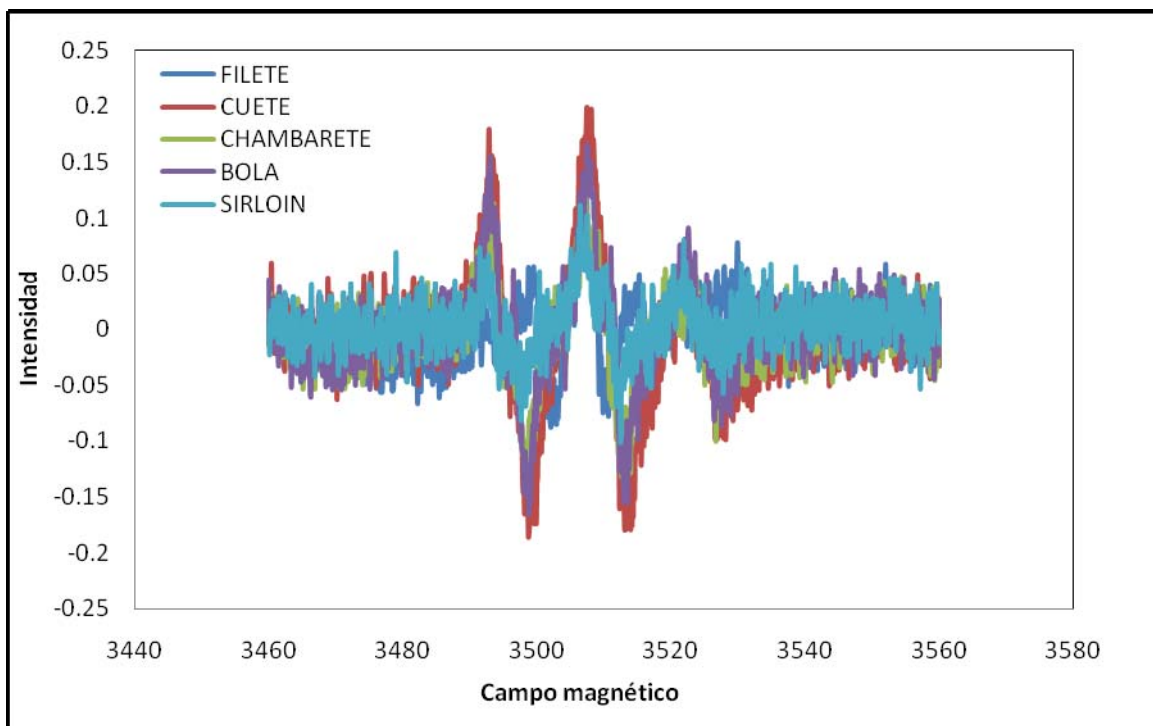


Figura 34. Espectros de Resonancia Paramagnética Electrónica de los diferentes cortes de carne de res al t_0

En la Figura 35 se observa claramente como se incrementó la intensidad en la señal generada por la presencia de radicales, por ejemplo la bola al tiempo cero presentó una intensidad de 0.15 mientras que a los 60 días de almacenamiento la intensidad aumentó hasta 1.5, prácticamente 10 veces más. Por otro lado el cuete creció de una intensidad de 0.2 hasta 1.0, su crecimiento no fue tan marcado como la bola pero es bastante significativo. El comportamiento de la intensidad dada por los radicales libres en los diferentes cortes de carne de res al día 60 fue semejante al inicio del estudio, los cortes con mayor intensidad fueron aquellos con mayor concentración de lípidos.

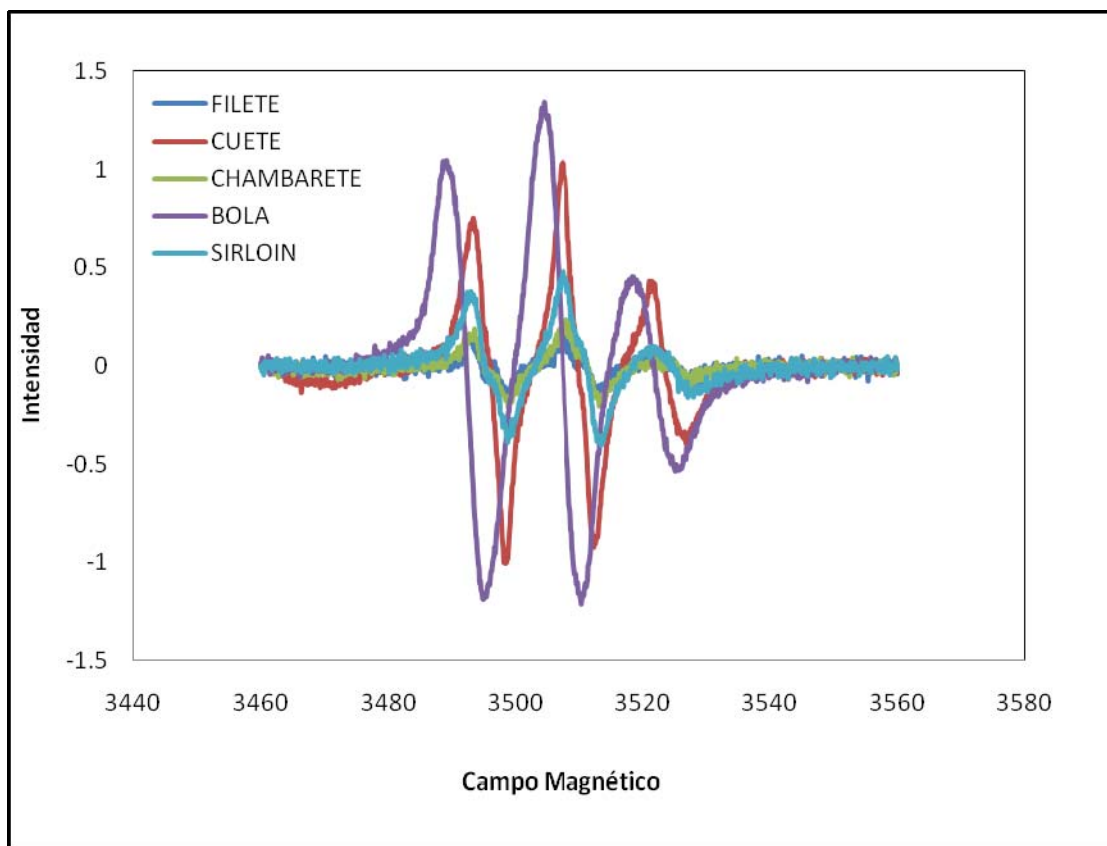


Figura 35. Espectros de Resonancia Paramagnética Electrónica de los diferentes cortes de carne de res a t_{60} .

En orden creciente en intensidad es el siguiente: Filete, Chambarete, Sirloin, Cuete y Bola. El incremento que se dio de manera general en la intensidad generada por los radicales libres está asociado a la reactividad que presentan estas moléculas, una vez que se inicia el proceso de rancidez se incrementa la cantidad de radicales así como la concentración de peróxidos e hidroperóxidos.



En la Figura 36 se muestran los espectros de RPE al t_{120} de almacenamiento, el comportamiento en la intensidad generada por los radicales en los diferentes cortes es semejante como se fue presentando en los monitoreos anteriores, a excepción de que a este tiempo el corte con la mayor intensidad fue el cuete en comparación con los monitoreos anteriores donde la bola era el corte que presentaba la mayor intensidad seguida por el cuete.

Por otro lado se observa una diferencia significativa entre los cortes con mayor concentración de lípidos en comparación con lo que presentan un menor contenido lipídico. Se puede observar que la diferencia en la intensidad entre Filete y Chambarete fue prácticamente nula ambos presentan en el espectro un máximo de 2 unidades, mientras que en los cortes con mayor contenido lipídico la intensidad máxima fue de 10 unidades.

El orden creciente de intensidad generada por los radicales libres al t_{120} de almacenamiento es el siguiente: Filete, Chambarete, Sirloin, Bola y Cuete. Cabe mencionar que los radicales libres son moléculas bastante reactivas y que así como son generadas reaccionan entre sí para formar moléculas más estables, por lo que este análisis es solo cualitativo y por ende no proporcionó toda la información acerca del estado de oxidación de la grasa.

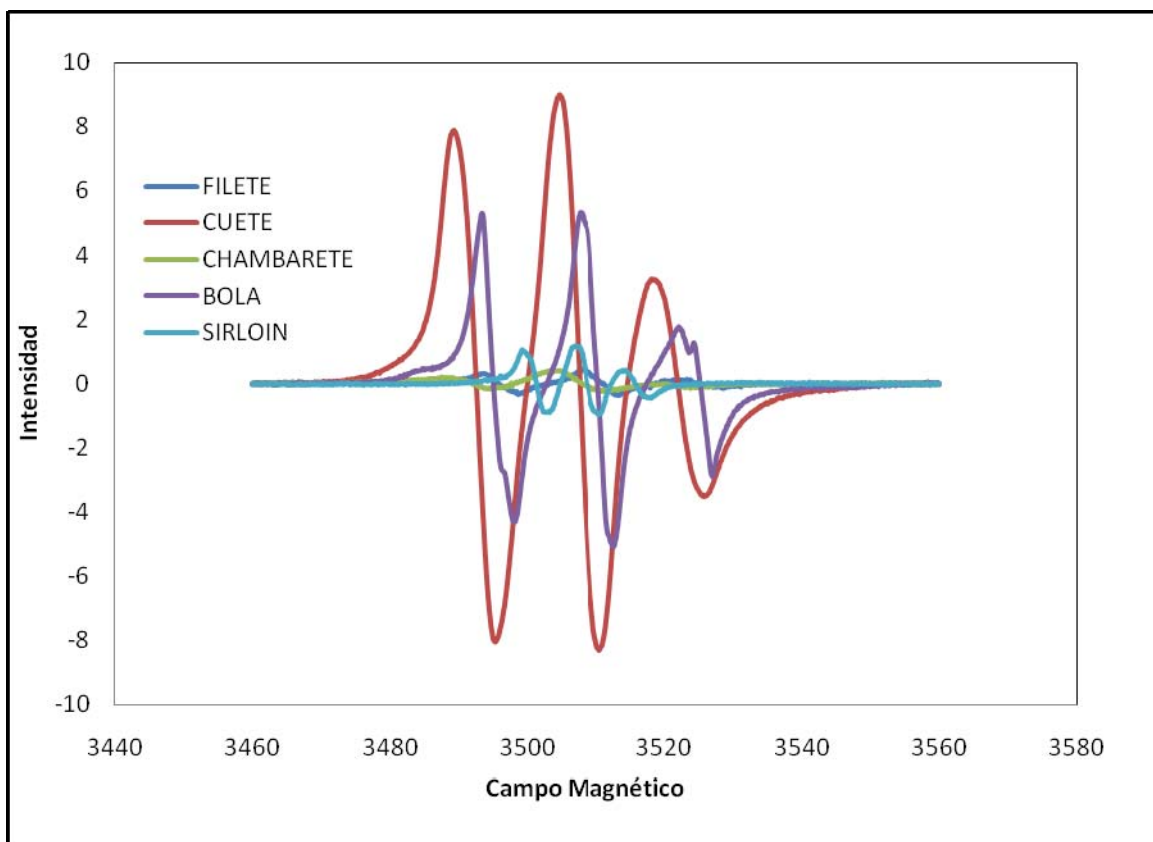


Figura 36. Espectros de Resonancia Paramagnética Electrónica de los diferentes cortes de carne de Res al t_{120} .

IV.2.3.2 Índice de Peróxidos

Uno de los productos mayoritarios de la etapa de propagación en las reacciones de rancidez oxidativa son los peróxidos, se caracterizan por su alta reactividad y su presencia indica que se han iniciado las principales reacciones de oxidación lipídica y dependiendo de su concentración es el grado de avance que tiene en la reacción (Thanonkaew, 2006; Teets, 2008).



Las condiciones en las que se almacenó la carne permitieron que no avanzara de manera significativa las reacciones de rancidez oxidativa. La carne se almacenó en un congelador a -18°C en bolsas de plástico semipermeables al oxígeno y en oscuridad de tal forma que solo el a_w bajo y la presencia de agentes pro-oxidantes fueron responsables de iniciar la formación de radicales para después continuar con la oxidación. Esto se ve reflejado en los resultados (Ver Tabla 18 y Anexo F), los cuales no sobrepasan el valor de índice de peróxidos (10 meq /kg grasa) establecido por la norma del Codex para grasas animales CODEXSTAN 211, 1999.

En los resultados se refleja un comportamiento semejante al de la prueba de RPE los cortes con un mayor contenido de grasa (Bola, Cuete y Sirloin) fueron los que reportaron mayor concentración de peróxidos en comparación con los cortes que tienen una menor concentración de grasa (Filete y Chambarete).

Tabla 18. Resultados de la determinación de Índice de peróxidos (meq/kg grasa) en los diferentes cortes de carne de res almacenados en congelación

Tiempo (días)	Bola	Sirloin	Cuete	Chambarete	Filete
0	0.17 ^b	0.33 ^a	0.23 ^c	0.11 ^d	0.13 ^d
60	1.17 ^c	1.47 ^b	1.64 ^a	0.73 ^d	0.51 ^e
120	3.32 ^b	3.19 ^c	3.58 ^a	1.13 ^e	1.4 ^d

Los datos representan los promedios de triplicados, C.V. < 5%

Las medias con letras distintas son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$ de acuerdo con la prueba de rango múltiple de Duncan (por renglón).



Es importante señalar que una vez que se ha iniciado el proceso oxidativo las reacciones no se pueden detener por lo que este valor se incrementa con respecto al tiempo y permite que se lleve a cabo la formación de productos secundarios responsables de los sabores y aromas desagradables.

La descomposición de los hidroperóxidos da lugar a una amplia variedad de compuestos los cuales a su vez puede experimentar subsecuentes oxidaciones dando origen a productos complejos. La descomposición de los peróxidos se manifiesta una vez que ha transcurrido la etapa de iniciación y propagación debido a que la velocidad de descomposición comienza a ser mayor a la de formación provocando una disminución en la concentración.

Dada la complejidad de la matriz cárnica es inevitable pensar que la reactividad solo ocurrió en la fracción lipídica, los peróxidos son moléculas altamente reactivas que pueden generar radicales libres y reaccionar con residuos sulfhidrilo e hidroxilo de las proteínas dando origen a reacciones de entrecruzamiento entre estos mismos disminuyendo la solubilidad y modificando las propiedades funcionales además de disminuir su valor nutricional (Gardner, 1979).

IV.2.3.3 Índice de Kreis

Finalmente también se cuantificó la presencia de compuestos carbonílicos provenientes de la oxidación lipídica. Los resultados se resumen en la Tabla 19 (Ver Anexo G) donde se observa que el corte con mayor deterioro oxidativo fue Cuete seguido de Bola, Sirloin, Filete y Chambarete, un comportamiento similar a éste se presentó desde la



determinación de RPE y peróxidos por lo que se puede decir que los cortes con mayor contenido graso fueron los que más reactividad presentaron.

Tabla 19. Resultados de la determinación de Índice de Kreis (absorbancia 540 nm /g grasa) en los diferentes cortes de carne de res almacenados en congelación

Tiempo (días)	Bola	Sirloin	Cuete	Chambarete	Filete
0	0.1189 ^b	0.0876 ^d	0.1412 ^a	0.1022 ^c	0.1228 ^b
60	0.1638 ^b	0.1353 ^c	0.1920 ^a	0.1205 ^d	0.1293 ^c
120	0.3827 ^b	0.1713 ^c	0.6777 ^a	0.1299 ^e	0.1559 ^d

Los datos representan los promedios de triplicados, C.V. < 5%

Las medias con letras distintas son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$ de acuerdo con la prueba de rango múltiple de Duncan (por renglón).

Al igual que los peróxidos, los compuestos carbonílicos como aldehídos y cetonas también son capaces de reaccionar con aminos primarios provenientes de las proteínas, péptidos o aminoácidos libres dando lugar a la formación de producción de adición tipo base de Schiff. Este tipo de reactividad podría justificar parte de la disminución en la concentración de grupos amino de las proteínas ya que también se pueden originar policondensaciones de aldehídos con bases de Schiff y dar origen a polímeros.

Otro de los productos mayoritarios de la rancidez oxidativa de los lípidos son los epóxidos los cuales al igual que los compuestos carbonílicos también son moléculas lábiles a reaccionar con los grupos amino.



Debido a la gran gama de reacciones que relacionan los productos de oxidación de los lípidos con los grupos amino de las proteínas se realizaron correlaciones lineales de Pearson para consolidar el comportamiento de los resultados discutidos anteriormente. Las correlaciones que se plantearon fueron las siguientes de acuerdo la reactividad discutida anteriormente:

- Índice de Peróxidos Vs Índice de Kreis:
- Grupo amino Vs Índice de peróxidos
- Grupo amino Vs Índice de Kreis

Los resultados de estos análisis estadísticos se resumen en la Tabla 20 (Ver Anexo H). La mejor correlación se presentó entre las pruebas de Índice de Peróxidos e Índice de Kreis, debido a que conforme aumenta el valor de peróxidos incrementa el valor de Kreis. La mayoría de los cortes presentan una valor muy cercano a uno a excepción del filete que fue el corte con menor daño oxidativo y su correlación fue relativamente baja en comparación con el resto de los cortes.

Tabla 20. Correlaciones de Pearson para los diferentes parámetros determinados en los distintos cortes de carne de res

Correlaciones	Cortes				
	Bola	Chambarete	Cuete	Filete	Sirloin
Índice de Peróxidos Vs Índice de Kreis	0.987	0.961	0.938	0.880	0.972
Grupo amino Vs Índice de peróxidos	-0.853	-0.971	-0.893	-0.707	-0.914
Grupo amino Vs Índice de Kreis	-0.762	-0.948	-0.686	-0.735	-0.967

La correlación es altamente significativa a un valor de 0.01 y 0.05



La correlación entre Grupo amino e Índice de Peróxidos presenta una pendiente negativa ya que conforme incrementan los peróxidos la concentración de grupo amino disminuye. Los valores de correlación fueron bajos desde -0.707 hasta -0.971 sin embargo se observa que si existe una relación lineal.

Finalmente la correlación entre grupo amino e índice de Kreis es una de las más importantes ya que esta justifica la disminución en la concentración de grupos amino por la reactividad de base de Schiff explicada anteriormente. En esta correlación la pendiente es negativa e inversamente proporcional, conforme incrementa la concentración de los compuestos carbonílicos disminuye la de grupo amino. Los valores son bajos pero tienden a tener una relación lineal.

Con lo discutido anteriormente se puede decir que la oxidación de lípidos y proteínas se desarrolla de manera simultánea y que las reacciones están ligadas entre sí, pero es difícil determinar hasta qué nivel. Las dos reacciones tienen la misma catálisis y se pueden desarrollar de manera independiente o de forma paralela o estar interactuando una con la otra, lo cual hace más difícil diferenciarlas en matrices complejas como por ejemplo la carne. Sin embargo se ha reportado que el tipo de modificación sobre las proteínas o lípidos depende de la naturaleza del radical que está atacando (Eymard 2007).

Se sabe que los radicales de hidroperóxidos y los productos secundarios de la oxidación de lípidos reaccionan con las proteínas provocando la pérdida en la funcionalidad de las proteínas. Se ha demostrado que los peróxidos provenientes del ácido linoléico pueden



interactuar con las proteínas miofibrilares induciendo la desnaturalización y la precipitación de miosina.

Por otro lado se remarca que los aldehídos formados durante la oxidación de lípidos pueden reaccionar con aminas primarias para formar bases de Schiff. Finalmente cabe mencionar que en contraste con lo discutido, no existen reportes del efecto que tienen los productos de la oxidación de las proteínas sobre los lípidos (Eymard 2007).



CONCLUSIONES

- El perfil químico y calorimétrico de los cortes estudiados, permitió seleccionar los cinco más representativos para realizar el estudio de los cambios conformacionales de las proteínas, la reactividad de sus grupos funcionales, caracterización de los pesos moleculares de las proteínas solubles y la rancidez oxidativa de la fracción lipídica, cuando la carne es almacenada en congelación.
- La selección de los cinco cortes fue lo suficientemente adecuada para poder apreciar cambios en los perfiles químicos y calorimétricos durante el almacenamiento en congelación.
- La concentración de los principales grupos reactivos de las proteínas (amino y sulfhidrilo) disminuyó con el tiempo de almacenamiento. Las aminas primarias por un lado reaccionaron con los compuestos carbonílicos generados por la oxidación de los lípidos. Mientras que los grupos sulfhidrilo reaccionaron entre sí dando como resultado la formación de puentes disulfuro y de esta forma provocando la disminución de proteína soluble.
- La reactividad que se presentó en el deterioro de las proteínas de la carne de bovino se ajustó a una cinética de reacción de primer orden, lo cual confirma que la mayoría de las reacciones de deterioro de alimentos son de primer orden.



-
- La prueba de correlación lineal de Pearson entre el índice de peróxidos y el índice de Kreis presentó una relación directamente proporcional, es decir al aumentar la concentración de peróxidos incrementa la presencia de compuestos secundarios de la oxidación de lípidos.
 - La prueba de correlación lineal de Pearson entre el índice de Kreis y la concentración de grupo amino presentó una relación inversamente proporcional al aumentar la presencia de compuestos secundarios de la oxidación de lípidos la concentración de grupo amino disminuye, debido a la formación de base Schiff que se da entre estas dos moléculas.
 - De acuerdo con el deterioro que presentaron los principales macrocomponentes de la carne de bovino se puede decir que los cortes más afectados por el almacenamiento en congelación fueron el Filete, Sirloin y Bola, por lo cual no es recomendable almacenar estos cortes por este método de conservación.
 - Las proteínas del Cuete fueron las más resistentes a la desnaturalización por efecto de la congelación; desafortunadamente los lípidos presentes en este corte son suficientes para demeritar la calidad química y disminuir la vida de anaquel.
 - El corte que sufrió menor daño durante el almacenamiento en congelación fue el Chambarete, por lo que se puede almacenar por tiempo prolongado por este método conservación sin presentar cambios significativos en su calidad química.



ANEXO A

Tabla 21. Calorimetría de Barrido Diferencial de 25 - 100°C para cortes con un contenido de lípidos < 10 %

Corte	Parámetro	Proteínas		
		Miosina	Sarcoplasmáticas y colágeno	Actina
Arrachera	Ancho del pico (°C)	45.49 a 53.95	54.10 a 60.75	68.52 a 78.84
	T de inicio (°C)	47.90	54.45	70.29
	Entalpia (J/g)	0.15	0.08	0.50
	Transición (°C)	51.09	56.29	74.72
Cuete	Ancho del pico (°C)	46.89 a 58.80	60.28 a 68.64	69.91 a 78.21
	T de inicio (°C)	49.37	60.73	70.94
	Entalpia (J/g)	0.98	0.19	0.51
	Transición (°C)	55.33	63.88	74.46
Chambarete	Ancho del pico (°C)	48.99 a 59.36	ND	68.80 a 76.43
	T inicio (°C)	50.91	ND	70.22
	Entalpia (J/g)	0.94	ND	0.45
	Transición (°C)	55.36	ND	73.33
Sábana	Ancho del pico (°C)	44.88 a 54.56	55.74 a 66.87	69.21 a 78.12
	T de inicio (°C)	46.16	56.47	70.66
	Entalpia (J/g)	0.30	0.24	0.51
	Transición (°C)	50.78	61.77	74.43

Los datos representan los promedios de triplicados, C.V. < 5%, ND: No detectado



Tabla 22. Calorimetría de Barrido Diferencial de 25 - 100°C para cortes con un contenido de lípidos entre 10 -20%

Corte	Parámetro	Proteínas		
		Miosina	Sarcoplasmáticas y colágeno	Actina
Bola	Ancho del pico (°C)	45.28 a 56.55	58.27 a 65.96	68.57 a 76.47
	T de inicio (°C)	47.18	58.73	69.21
	Entalpia (J/g)	0.55	0.11	0.37
	Transición (°C)	51.49	62.02	73.18
Falda	Ancho del pico (°C)	45.22 a 53.18	53.79 a 60.69	68.79 a 78.84
	T de inicio (°C)	47.34	54.16	70.62
	Entalpia (J/g)	0.09	0.14	0.54
	Transición (°C)	50.9	57.13	74.93
Sirloin	Ancho del pico (°C)	44.81 a 53.93	55.93 a 66.98	69.66 a 77.81
	T de inicio (°C)	45.94	56.13	70.92
	Entalpia (J/g)	0.25	0.26	0.46
	Transición (°C)	49.64	60.84	74.30
Suadero	Ancho del pico (°C)	44.55 a 53.59	54.19 a 67.31	69.46 a 77.83
	T de inicio (°C)	46.48	55.41	70.58
	Entalpia (J/g)	0.17	0.41	0.52
	Transición (°C)	50.16	58.61	74.24

Los datos representan los promedios de triplicados, C.V. < 5%



Tabla 23. Calorimetría de Barrido Diferencial de 25 - 100°C para cortes con un contenido de lípidos > 20%

Corte	Parámetro	Proteínas		
		Miosina	Sarcoplasmáticas y colágeno	Actina
Rib eye	Ancho del pico (°C)	44.55 a 54.10	ND	69.99 a 78.16
	T de inicio (°C)	46.69	ND	70.89
	Entalpia (J/g)	0.28	ND	0.51
	Transición (°C)	50.71	ND	74.47
Chuleta	Ancho del pico (°C)	45.22 a 56.87	59.68 a 67.65	69.19 a 78.43
	T de inicio (°C)	47.29	60.03	70.47
	Entalpia (J/g)	0.48	0.15	0.44
	Transición (°C)	52.2	62.87	74.44
New York	Ancho del pico (°C)	43.73 a 56.12	58.75 a 64.99	68.00 a 76.66
	T de inicio (°C)	46.02	59.1	68.97
	Entalpia (J/g)	0.58	0.08	0.55
	Transición (°C)	50.85	61.78	73.07

Los datos representan los promedios de triplicados, C.V. < 5%, ND: No detectados



ANEXO B

Tabla 24. Resultados del seguimiento de la concentración de grupo amino (mmol NH₂/100g proteína total) de los diferentes cortes de carne de res

Tiempo (Días)	Bola	Chambarete	Cuete	Filete	Sirloin
0	28425.44 ^c	14212.72 ^e	42879.77 ^a	34119.49 ^b	26310.43 ^d
7	21950.31 ^d	10978.66 ^e	33445.03 ^a	27439.81 ^b	26282.17 ^c
14	21104.13 ^d	10559.07 ^e	25717.22 ^b	27659.59 ^a	23510.04 ^c
21	20236.21 ^b	10128.61 ^d	21269.33 ^a	19385.75 ^c	21471.05 ^a
28	17420.41 ^d	8724.21 ^e	16472.55 ^c	18340.27 ^b	19979.41 ^a
35	12249.83 ^c	6142.42 ^d	13575.12 ^b	14177.26 ^a	14338.08 ^a
42	8485.24 ^d	4263.62 ^e	11229.64 ^c	13033.56 ^a	11991.54 ^b
49	7478.29 ^d	3763.65 ^e	10453.52 ^b	11773.66 ^a	10330.92 ^c
56	6743.17 ^d	3399.58 ^e	8837.62 ^c	11682.96 ^a	9601.05 ^b
63	6184.35 ^d	3123.68 ^e	7299.90 ^b	11083.46 ^a	7225.18 ^c
70	5314.39 ^d	2692.20 ^e	5988.35 ^c	10599.03 ^a	6234.39 ^b
77	4261.46 ^d	2169.23 ^e	4531.16 ^c	9384.53 ^a	4923.83 ^b
84	3718.52 ^c	1901.26 ^d	3661.49 ^c	8086.89 ^a	4458.07 ^b
91	3046.58 ^c	1568.79 ^d	2992.01 ^c	6783.56 ^a	3936.39 ^b
98	2370.63 ^c	1234.32 ^e	2269.50 ^d	4790.52 ^a	3007.15 ^b
105	1876.54 ^c	990.77 ^e	1834.09 ^d	4074.28 ^a	2325.40 ^b
112	1361.08 ^c	736.54 ^e	1313.93 ^d	3465.75 ^a	1900.20 ^b
119	795.67 ^c	457.34 ^e	579.08 ^d	2637.34 ^a	1455.50 ^b

Los datos representan los promedios de triplicados, C.V. < 5%

Las medias con letras distintas son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$ de acuerdo con la prueba de rango múltiple de Duncan (por renglón).



ANEXO C

Tabla 25. Resultados del seguimiento de la concentración de grupo sulfhidrilo ($\mu\text{mol SH} / 100\text{g}$ proteína total) de los diferentes cortes de carne de res

Días	Bola	Chambarete	Cuete	Filete	Sirloin
0	2307.99 ^e	3723.93 ^b	3908.18 ^a	2582.23 ^d	3381.81 ^c
7	2587.49 ^e	3753.05 ^b	4240.10 ^a	2873.26 ^d	3453.73 ^c
14	2780.46 ^e	3896.75 ^b	4384.80 ^a	3019.01 ^d	3563.01 ^c
21	2946.60 ^e	3914.88 ^b	4367.04 ^a	3155.72 ^d	3699.34 ^c
28	2635.34 ^c	3622.67 ^b	4019.38 ^a	3154.88 ^b	3806.70 ^b
35	2049.16 ^c	2588.29 ^b	2737.83 ^a	1973.66 ^d	2603.60 ^b
42	1844.36 ^d	2439.38 ^b	2396.36 ^c	1933.63 ^c	2595.72 ^a
49	1799.97 ^d	2448.59 ^b	1909.62 ^d	1891.57 ^c	2578.07 ^a
56	1746.42 ^e	2434.63 ^b	1840.07 ^c	1819.01 ^d	2583.67 ^a
63	1623.26 ^d	2427.21 ^b	1720.98 ^d	1785.38 ^c	2527.23 ^a
70	1601.25 ^d	2390.36 ^b	1608.88 ^d	1764.42 ^c	2261.95 ^a
77	1518.92 ^d	2345.55 ^b	1518.87 ^d	1708.06 ^c	2145.12 ^a
84	1405.82 ^d	2229.71 ^b	1380.20 ^d	1607.75 ^c	1984.28 ^a
91	1209.35 ^d	1943.53 ^a	1217.84 ^d	1361.77 ^c	1704.60 ^b
98	1256.94 ^c	1645.16 ^a	1026.52 ^c	1280.12 ^b	1238.98 ^c
105	1127.31 ^c	1561.08 ^a	909.80 ^d	1161.66 ^b	1169.11 ^b
112	1005.93 ^b	1423.85 ^a	792.80 ^c	968.29 ^b	1017.07 ^b
119	912.35 ^b	1201.68 ^a	690.40 ^d	884.81 ^c	946.47 ^b

Los datos representan los promedios de triplicados, C.V. < 5%

Las medias con letras distintas son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$ de acuerdo con la prueba de rango múltiple de Duncan (por renglón).



ANEXO D

Tabla 26. Resultados del seguimiento de la concentración de proteína soluble (g proteína soluble /100 g proteína total) de los diferentes cortes de carne de res

Tiempo (días)	Bola	Chambarete	Cuete	Filete	Sirloin
0	60.68 ^b	63.2 ^a	59.22 ^b	69.34 ^a	56.04 ^c
7	57.1 ^c	60.39 ^a	57.31 ^c	58.96 ^b	56.77 ^d
14	55.06 ^b	48.6 ^e	52.54 ^c	60.05 ^a	51.61 ^d
21	55.29 ^a	42.45 ^d	48.34 ^b	43.52 ^c	48.08 ^b
28	50.64 ^a	39.76 ^c	40.04 ^c	42.1 ^d	46.44 ^b
35	40.11 ^a	39.49 ^b	35.89 ^c	34.25 ^d	36.1 ^c
42	30.51 ^d	38.69 ^a	31.53 ^c	32.9 ^b	31.41 ^c
49	29.03 ^d	34.9 ^a	30.28 ^c	32.05 ^b	28.11 ^e
56	27.11 ^c	30.62 ^b	26.95 ^c	32.4 ^a	27.11 ^c
63	25.55 ^c	27.01 ^b	24.86 ^d	30.95 ^a	21.68 ^e
70	22.94 ^c	24.1 ^b	22.57 ^c	30 ^a	19.92 ^d
77	20.29 ^c	21.03 ^b	18.44 ^d	26.74 ^a	17.37 ^e
84	18.83 ^c	19.7 ^b	17.17 ^d	25.66 ^a	16.66 ^d
91	17.86 ^c	19.6 ^b	16.14 ^d	22.71 ^a	16.3 ^d
98	14.53 ^c	18.07 ^a	13.54 ^e	16.31 ^b	14.1 ^d
105	13.28 ^c	16.68 ^a	12.13 ^e	14.55 ^b	12.4 ^d
112	10 ^d	14.02 ^a	9.79 ^e	13.06 ^b	10.88 ^c
119	6.37 ^d	11.62 ^a	5.15 ^e	10.52 ^b	9.55 ^c

Los datos representan los promedios de triplicados, C.V. < 5%

Las medias con letras distintas son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$ de acuerdo con la prueba de rango múltiple de Duncan (por renglón).



ANEXO E

Tabla 27. Resultados de la cinética de primer orden de los parámetros de reactividad de proteínas en los diferentes cortes.

Corte	Grupo amino	Proteína soluble	Grupo Sulfhidrilo
Bola	$y = -0.0274x + 2.6218$ R= 0.9777	$y = -0.017x - 3.4848$ R= 0.9572	$y = -0.0097x + 0.277$ R= 0.9575
Chambarete	$y = -0.0267x + 1.429$ R= 0.9812	$y = -0.0132x - 4.0958$ R= 0.9843	$y = -0.0091x + 0.1053$ R= 0.8644
Cuete	$y = -0.0312x + 2.4243$ R= 0.975	$y = -0.0174x - 4.0526$ R= 0.9522	$y = -0.0164x + 0.2609$ R= 0.9636
Filete	$y = -0.0191x + 2.543$ R=0.9624	$y = -0.0137x - 3.6666$ R= 0.9405	$y = -0.0105x + 2.83$ R= 0.8852
Sirloin	$y = -0.025x + 2.3078$ R=0.9874	$y = -0.0156x - 3.99$ R= 0.9892	$y = -0.0137x + 0.445$ R= 0.9087



ANEXO F

Tabla 28.- Resultados de la determinación de Índice de peróxidos (meq/kg grasa) en los diferentes cortes de carne de res almacenados en congelación

Tiempo (días)	Bola	Sirloin	Cuete	Chambarete	Filete
0	0.17	0.33	0.23	0.11	0.13
60	1.17	1.47	1.64	0.73	0.51
120	3.32	3.19	3.58	1.13	1.4

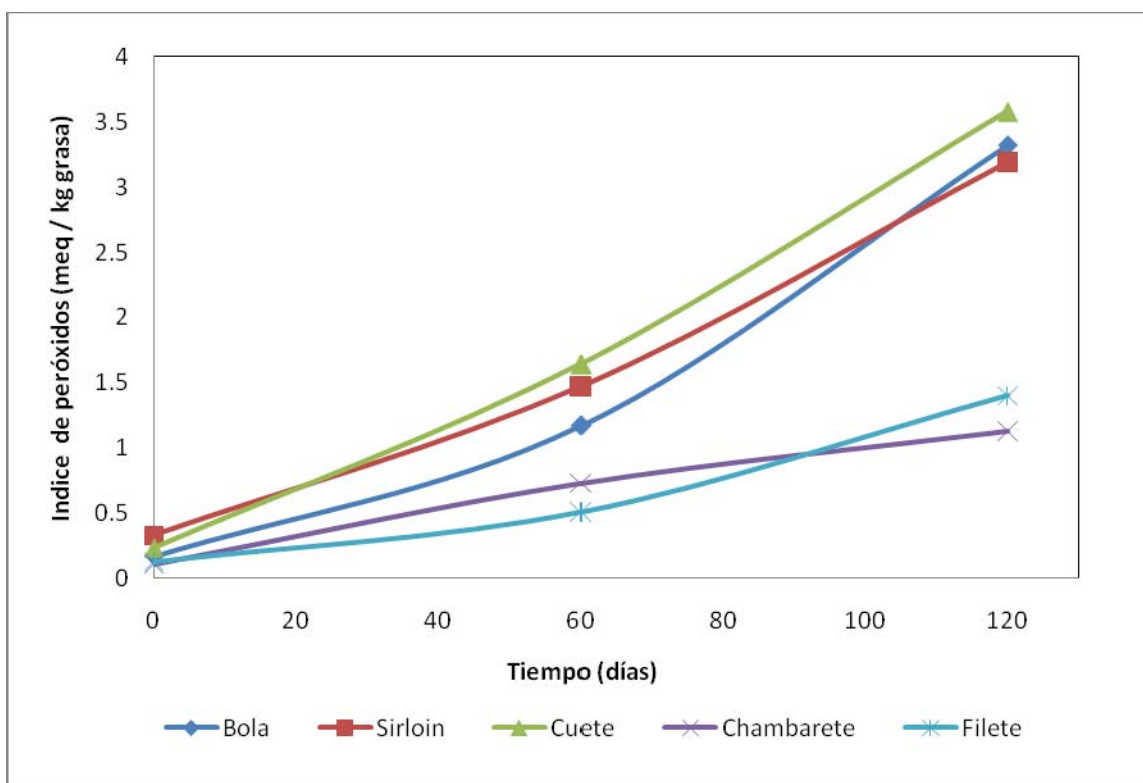


Figura 37.-Concentración de peróxidos en la grasa de los diferentes cortes de carne de res durante su almacenamiento en congelación



ANEXO G

Tabla 29.- Resultados de la determinación de Índice de Kreis (absorbancia 540nm /g grasa) en los diferentes cortes de carne de res almacenados en congelación

Tiempo (días)	Bola	Sirloin	Cuete	Chambarete	Filete
0	0.1189	0.0876	0.1412	0.1022	0.1228
60	0.1638	0.1353	0.192	0.1205	0.1293
120	0.3827	0.1713	0.6777	0.1299	0.1559

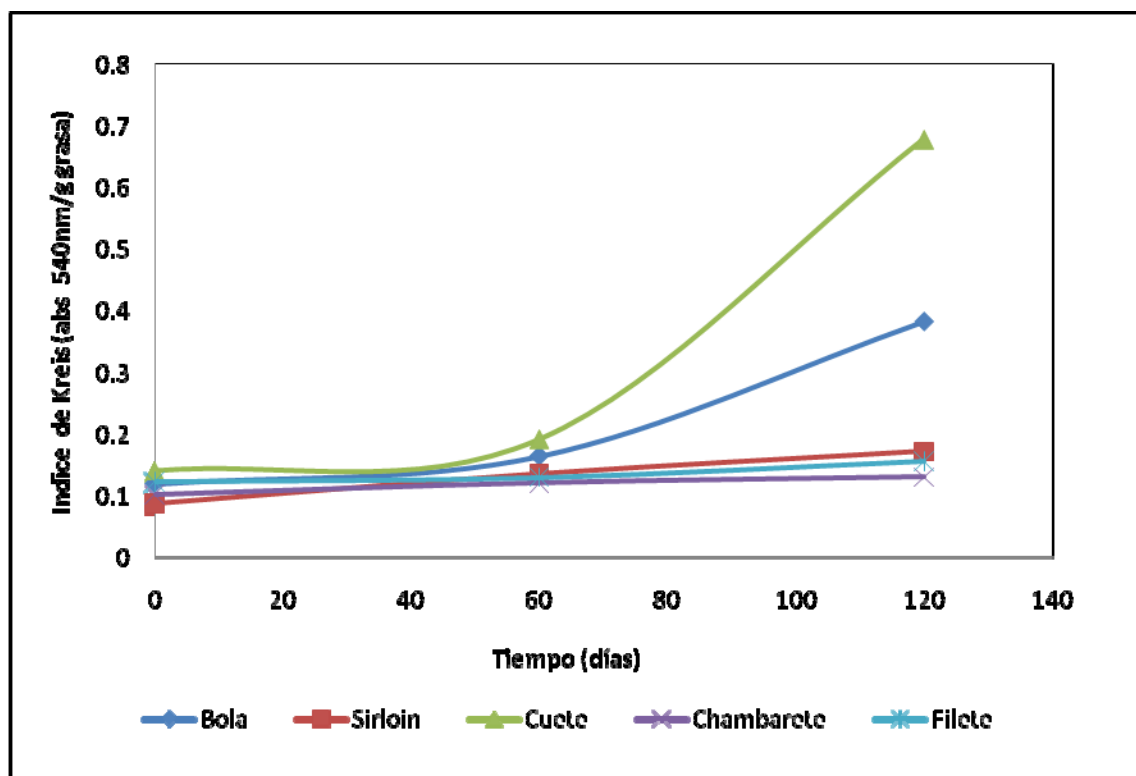


Figura 38. Estudio de la oxidación de lípidos de los diferentes cortes de carne de res durante su almacenamiento en congelación



ANEXO H

Tabla 30. Correlación de Pearson para los diferentes parámetros determinados en el corte de res Bola

	Índice de peróxidos	Índice de Kreis	Grupo Amino
Índice de peróxidos	1	0.9873	-0.8535
Índice de Kreis	0.9873	1	-0.7625
Grupo Amino	-0.8535	-0.7625	1

La correlación es altamente significativa a un valor de 0.01 y 0.05

Tabla 31. Correlación de Pearson para los diferentes parámetros determinados en el corte de res Chambarete

	Índice de peróxidos	Índice de Kreis	Grupo Amino
Índice de peróxidos	1	0.9617	-0.9715
Índice de Kreis	0.9617	1	-0.9480
Grupo Amino	-0.9715	-0.9480	1

La correlación es altamente significativa a un valor de 0.01 y 0.05

Tabla 32. Correlación de Pearson para los diferentes parámetros determinados en el corte de res Cuete

	Índice de peróxidos	Índice de Kreis	Grupo Amino
Índice de peróxidos	1	0.9377	-0.8932
Índice de Kreis	0.9377	1	-0.6856
Grupo Amino	-0.8932	-0.6856	1

La correlación es altamente significativa a un valor de 0.01 y 0.05



Tabla 33. Correlación de Pearson para los diferentes parámetros determinados en el corte de res Filete

	Índice de peróxidos	Índice de Kreis	Grupo Amino
Índice de peróxidos	1	0.8804	-0.7068
Índice de Kreis	0.8804	1	-0.7346
Grupo Amino	-0.7068	-0.7346	1

La correlación es altamente significativa a un valor de 0.01 y 0.05

Tabla 34. Correlación de Pearson para los diferentes parámetros determinados en el corte de res Sirloin

	Índice de peróxidos	Índice de Kreis	Grupo Amino
Índice de peróxidos	1	0.9720	-0.9140
Índice de Kreis	0.9720	1	-0.9674
Grupo Amino	-0.9140	-0.9674	1

La correlación es altamente significativa a un valor de 0.01 y 0.05



BIBLIOGRAFIA

- Angsupanich K., Leward D. 1998. High pressure treatment effects on cold (*Gadus Morhua*) muscle. Food Chemistry. 63, 39-50.
- Bligh E. and Dyer J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Journal of Biochemical and Physiology. 37, 911-917.
- Cavallotti V., Palacio M. 1999. La ganadería de bovinos de carne en México y el TLC. Reporte de Investigación, 2ª edición. CIESTAAM. Chapingo México. 23.
- CODEX-STAN-211-1999. Norma del codex para grasas animales especificadas.
- Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas. 2003a. Información Económica Pecuaria No 12. México, D. F. página 80.
- Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas. 2003b. Participación de la Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas en las mesas de diálogo. México Ganadero No. 490, páginas 3-11.
- Dalsgaard T., Otzen D., Nielsen J. and Larsen L. 2007. Changes in structures of milk proteins upon photo-oxidation. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 55, 10968 - 10976.
- Damodaran S., Paraf A. 1997. Food Proteins. A review. Food Proteins and their Applications. Marcel Dekker Inc. USA.
- Eymard S., Baron C., Jacobsen C., 2009. Oxidation of lipid and protein in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) mince and washed minces during processing and storage. Food Chemistry. 114, 57-65.



-
- Farouk M., Swan J. 1998. Effect of muscle condition before freezing and simulated chemical changes during frozen storage on protein functionality in Beef. *Meat Science*. 50, 235-243.
 - Fenema O. R. 1993. *Química de alimentos*. Segunda Edición. Editorial Acribia S.A.de C.V. (Zaragoza España) Capítulo 5 y 6. 269-382-513.
 - Food and Agriculture Organization. Información estadística. <http://apps.fao.org>, consultada el 5 de Febrero de 2009.
 - Gardner H. 1979. Lipids hydroperoxide reactivity with proteins and amino acids: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 220 - 228.
 - Haard N. 1992. Biochemical reactions in fish muscle during frozen storage. In *Seafood Science and Technology*. 176-209.
 - Huidobro A., Mohamed G., and Tejeda M. 1998. Aggregation of myofibrillar proteins in hake, sardine and mixed minces during frozen storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46, 2601 - 2608.
 - Hui Y., Guerrero I., y Rosmini M. 2006; *Ciencia y Tecnología de Carnes*, Ed. Limusa, México. Capítulo 1, 2 y 3.
 - Hung Y. C. and Kim N. K. 1996. Fundamental aspects of freeze cracking, *Food Technology*. 50-59
 - Kitima L., Soottawat B., Wonnop V., Nazalin K. 2005. Physicochemical and biochemical changes during frozen storage of minced flesh of lizardfish (*Saurida micropectoralis*). *Food Chemistry*. 90, 141 - 150.
-



-
- Krasaechol N., Sanguandeeikul R., Duangmal K., Owusu K. 2008. Structure and functional properties of modified threadfin bream sarcoplasmic protein. *Food Chemistry*. 107, 1-10.
 - Lagerstedt A., Enfalt L. Johansson L., Lundstrom K., 2008. Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef (*M. longissimus dorsi*). *Meat Science*, Received 27 November 2007; revised 17 January 2008; accepted 17 January 2008. Available online 26 January 2008.
 - Lehninger A. 2001. *Principios de Bioquímica*, 3ª edición. Editorial Omega.
 - Mackie I. M. 1993. The effects of freezing on flesh proteins. *Food Reviews International*. 9, 575-610.
 - Makri M. 2008. Biochemical and textural properties of frozen stored (-22°C) gilthead seabream (*Sparus aurata*) fillets. *African Journal of Biotechnology*. 8, 1287-1299.
 - Nedenskov J., Jorgensen M. 2003. Effect of storage conditions on differential scanning calorimetry profiles from thawed cod muscle. *Lebensmittel Wissenschaft and Technology*. 36, 807-812.
 - Ngapo T., Babare I., Reynolds J., Mawson R. 1999. A preliminary investigation of the effects of frozen on samples of pork. *Meat Science*. 53, 169-177.
 - Niessen A. 1979. Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by Trinitrobenzensulfonic Acid. *Food Chemistry*. 27, 1256-1262.
 - Official Methods of Analysis of AOAC International 18th Edition, 2005 by AOAC International, Current through Revision 1, 2006. United States of America.
-



-
- Ojeda M., Wagner R. and Crupkin M. 2001. Biochemical properties of Myofibrils from frozen *Longissimus Dorsi* muscle of three lamb genotypes. *Lebensmittel Wissenschaft and Technology*. 34, 390-397.
 - Ostdal H., Davies M., Andersen H. 2002. Reaction between protein radicals and another biomoléculas. *Free Radical Biology and Medicine*. 33, 201 - 209.
 - Papadimitriou V., Sotiroudis T., Xenakis A., Sofikiti V., Stavyiannoudaki N. Chaniotakis N. 2006. Oxidative stability and radical scavenging activity of extra virgin olive oils: An electron paramagnetic resonance spectroscopy study. *Analytica Chimica Acta*. 453-458.
 - Pérez J., Flores M. and Toldra F. 2008. Effect of pork meat on the binding of volatile compounds. *Food Chemistry*. 108, 1226 - 1233.
 - Sarma J., Vidya G., Srikar L. 2000. Effect of frozen storage on lipids and functional properties of proteins of dressed Indian oil sardine (*Sardinella longiceps*). *Food Research International*. 33, 815-830.
 - Schubring R. 1999. DSC studies on deep frozen fishery products. *Termochimica Acta*. 337, 89-95.
 - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2002a. Evaluación interna de la Alianza para el Campo 2002. México, D. F. pp 29.
 - Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. 2009. Información del sector. <http://ganaderia.sagarpa.gob.mx>. Consultada el 5 de febrero de 2009.
-



-
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2002b. Situación actual de la producción de carne de bovino en México. *Claridades Agropecuarias* 109:3-32.
 - Sedalk J. and Lindsay R. 1968. Estimation of total protein bound and non protein sulfhydryl groups in tissue with Ellman's reagent. *Analytical Biochemistry*. 25, 192 - 205.
 - Skipnes D, Van der Plancken L., Hendrickx M. 2008. Kinetics of heat denaturation of proteins from farmed Atlantic cod (*Gadus morhua*) *Journal of Food Engineering*. 85, 51-58.
 - Smeller L., Rubens P. and Heremans K. 1999. Pressure Effect on the temperature-induced unfolding and tendency to aggregate of myoglobin. *Biochemistry*. 38, 3816-3820.
 - Soottawat B., Seymour T., Morrissey M., and Haejung A. 1997. Physicochemical changes in Pacific Whiting muscle proteins during iced storage. *Journal of Food Science*. 62, 729-733.
 - Sotelo C., Aubourg S., Perez M. and Gallardo J. 1994. Protein denaturation in frozen stored hake (*Merluccius merluccius* L.) muscle: The role of formaldehyde. *Food Chemistry*. 50, 267 -275.
 - Teets A. and Were L. 2008. Inhibition of lipid oxidation in refrigerated and frozen salted raw chicken breasts with electron beam irradiated almond skin powder. *Meat Science*. 80, 1326 - 1332.
-



-
- Thanonkaew A., Benjakul S., Visessanguan W., Decker E., 2006. Development of yellow pigmentation in Squid (*Loligo peali*) as a result of lipid oxidation. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54, 956-962.
 - Tornberg O. 2005. Effects of heat on meat proteins - Implications on structure and quality of meat products. Meat Science. 70, 493 - 508.
 - United States Department of Agriculture. 2003a. World Trade Overview. <http://www.fas.usda.gov/>. Consultada el 9 febrero 2009.
 - United States Department of Agriculture. 2009b. Report Number MX3114. USDA. Foreign Agriculture Service. <http://www.fas.usda.gov/>. Consultada el 9 febrero 2009.
 - Yamamoto T., Shinya K., Yuji O., Yasuyuki T., Kenichi K., and Masashi A., 2005. Change of meat quality in tiger puffer during frozen storage. Food Science Technology Research. 11, 175-183.
 - Zamri A., Leward D. and Frazier A. 2006. Effect of combined heat and high pressure treatments on the texture of chicken breast muscle (*Pectoralis Fundus*). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54, 2292-2296.
-