

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**  
**UNIDAD IZTAPALAPA**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD**  
**DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA**

**FUNCIONALIDAD DE EXTRACTOS  
PROTEICOS MUSCULARES DE CABRA Y  
RES. EFECTO DE LA TEMPERATURA Y  
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO.**

ASESORES: DRA. ISABEL GUERRERO y M. en C. PAULINA LARA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

*MAESTRO EN BIOTECNOLOGÍA*

P R E S E N T A:

ALFONSO TOTOSAUS SÁNCHEZ

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
SECRETARÍA DE CULTURA Y FOLCLORE

H. JURADO:

DRA. ISABEL GUERRERO LEGARRETA (UAM-IZT)

DR. GERARDO MONTEJANO GAITAN (ITESM-Qro.)

DR. JORGE SORIANO SANTOS (UAM-IZT)

DR. JAIME VERNON CARTER (UAM-IZT)

México, Distrito Federal a 16 de Octubre de 1996.

**AGRADECIMIENTOS****224568**

Antes que a nada quiero agradecer a la Dra. Isabel Guerrero y a la casi Dra. Paulina Lara, asesoras de esta Tesis, por la gran confianza que depositaron en mi al aceptarme de nueva cuenta en su grupo de trabajo aquí en la UAMI. Por su apoyo y paciencia al terminarme los reactivos del laboratorio y amistad invaluable les estaré eternamente agradecido. A mi amigo y M. en Biotecnol. Ernesto Alanís-García, por su apoyo en momentos difíciles y ya que sin su ayuda me hubiera tardado el doble en montar la mayoría de estas técnicas. Al Profesor Alberto Reyes Dorantes, por su soportarme como ayudante del curso de Enología. A todos mis compañeros de la 4a. generación, sin quienes el tedio y el cansancio del trabajo hubieran sido mortales. Al M. En Biotecnol. Don Hector Escalona, por sus asesorías y amistad desinteresadas. Quiero agradecer de manera muy especial al M. en Biotecnol. Herminio Fernández y su familia, por todo lo que me ayudaron cuando lo necesite.

A mi papa, Lic. Alfonso Totosaus y Corzo, por el ejemplo de Rectitud y Honradez que siempre mostró ante mi. A mi madre, Chuy, por la educación que procuro darme siempre. A mis hermanos, Enrique y Monica Rocío, por estar siempre que los necesito y haber crecido conmigo. A mis suegros, por todo el apoyo que nos han brindado siempre. A mis abuelos, tíos y primos. A Royer, donde quiera que estés. A mis grandes y viejos amigos, que no menciono por miedo a olvidar alguno.

A Marina, por todo lo que hemos vivimos, por creer siempre en mí y estar a mi lado apesar de todo. Gracias.

Mi admiración y agradecimiento al Dr. Guillermo Arteaga (CIAD-AC, Hermosillo, Son.), por la oportunidad de trabajar con él y aprender mucho durante mi estancia en el CIAD.

A las Dras. Lulú Pérez, Edith Ponce, Arely Prado y Keiko Shirai, por sus gritos de apoyo durante este trabajo y al M. en C. Carlos Romero (UAM-Iztapalapa), por su ayuda con las cabras. También quiero agradecer al Dr. Gerardo Montejano (ITESM-Campus Querétaro); al Dr. José Carballo (Instituto del Frío, España) al Dr. Shiro Nakai y la Dra. Eunice Li-Chan (British Columbia University, Canadá); al Dr. Youling Xiong y la Dra. Susan Blanchard (University of Kentucky, EE. UU.) y a la Dra. Denise Smith (Michigan State University, EE. UU.), por su gran paciencia y asesorías al responder mis e-mail´s.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la Beca otorgada para mi sustento y desarrollo de esta Tesis.

Cuenta la leyenda de un maestro que postrado en su lecho de muerte fue rodeado por sus discípulos, quienes le preguntaron acerca de los grandes sabios, de los cuales había aprendido tantos conocimientos. El maestro, sintiendo que la vida se le iba, les respondió de la siguiente manera:

"Necesitaría de meses para enumerar a todos mis maestros, pero quiero hablar de tres de ellos que no olvidé a lo largo de mi vida. Mi primer maestro fue un ladrón que conocí una noche cuando me perdí en el desierto. Llegué a un pueblo de madrugada, desfallecido de hambre y de sueño. Le pregunté dónde podía encontrar algo de comer, mientras él rompía una pared con una piqueta. 'Si no te importa que yo sea ladrón -me dijo-, puedes quedarte conmigo y te daré de comer'.

De ese hombre aprendí que aunque trabajaba horas extras, nunca se desanimaba y siempre estaba confiado en lograr su objetivo, a pesar de que su conducta era desviada. Ese aprendizaje fue definitivo en mi vida, porque cuando yo hacía meditación y no encontraba resultados me desesperaba, entonces venía a mi memoria aquel hombre que no desfallecía en su afán, y me decía que si él era tan constante en lo malo, yo debería de ser igual para lo bueno.

"El segundo maestro fue un perro. Recuerdo que un día estaba yo bebiendo agua en la orilla de un río cuando llegó el perro sudoroso, muerto de sed, que al momento de acercarse al agua y ver su imagen se asustó y ladró nervioso. Pero movido por la sed regresó sigilosamente a la orilla del río, al ver reflejada nuevamente su imagen en el agua se aventó contra ella y en ese momento se ahogó. De él aprendí que debo combatir mis propios miedos para vencerlos.

"El tercer maestro fue un niño que caminaba junto al templo con una vela encendida, me acerqué y le pregunté: '¿De donde viene el fuego con el cual prendiste tu vela?' El niño se me quedó viendo, frunció el entrecejo y luego sopló sobre la vela y al soplar se apagó. 'Si tú me dices dónde se fue la llama, yo te diré de donde vino cuando la prendí hace un momento'. Con él aprendí que los conocimientos teóricos son menos importantes que los que dan el sentido común y la observación."

Después de esta conversación, el maestro cerró los ojos, preparándose a morir, mientras sus discípulos aprendían la última lección.

recopilado por H. Jaramillo (1995)



*Edificio "S", UAM-Iztapalapa*



*H. 4a. generación de la Maestría en Botánica. UAM-I.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>x</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
3.1. LA CABRA COMO PRODUCTORA DE CARNE .....	4
3.1.1. VALOR NUTRITIVO Y CLASIFICACIÓN DE LA CARNE DE CABRA.....	5
3.1.2. PRODUCCIÓN DE CARNE DE CABRA .....	8
3.2. PROPIEDADES FUNCIONALES .....	12
3.3. PROTEÍNAS MUSCULARES Y FUNCIONALIDAD:.....	17
3.3.1. SOLUBILIDAD y pH.....	21
3.3.2. GRUPOS SULFHIDRILLO .....	24
3.3.3. HIDROFOBICIDAD .....	26
3.3.3.1. INTERACCIONES ENTRE MOLÉCULAS .....	26
FUERZAS ELECTROSTÁTICAS .....	27
PUENTES DE HIDRÓGENO.....	28
PUENTES DISULFURO .....	29
FUERZAS HIDROFÓBICAS.....	30
3.3.3.2. DETERMINACIÓN DE LA HIDROFOBICIDAD .....	32
3.3.4. PROPIEDADES DE EMULSIFICACIÓN.....	33
3.3.4.1. EMULSIÓN .....	33
3.3.4.2. EMULSIÓN CÁRNICA.....	35
3.3.4.3. ÍNDICE DE ACTIVIDAD DE EMULSIÓN .....	37
3.3.4.4. ÍNDICE DE ESTABILIDAD DE EMULSIÓN.....	39
3.3.4.5 CAPACIDAD DE EMULSIÓN.....	39
3.3.5. GELIFICACIÓN INDUCIDA POR CALOR .....	42
3.3.5.1. COMPRESIÓN UNIAXIAL.....	49

---

3.4. FACTORES QUE AFECTAN LA FUNCIONALIDAD DE PROTEÍNAS.....	52
3.5 USO DE SISTEMAS MODELO .....	57
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>61</b>
4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	61
4.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	61
4.2.1. EXTRACCIÓN DE LAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES .....	62
4.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	64
4.3.1. CONTENIDO DE PROTEÍNA.....	64
4.3.2. DETERMINACIÓN DEL pH.....	64
4.4. ANÁLISIS ESTRUCTURALES .....	65
4.4.1. GRUPOS SULFHIDRILLO .....	65
4.5. ANÁLISIS FUNCIONALES.....	65
4.5.1. SOLUBILIDAD Y pH .....	65
4.5.2. PROPIEDADES DE EMULSIFICACIÓN .....	66
4.5.2.1. ÍNDICE DE ACTIVIDAD DE EMULSIÓN.....	66
4.5.2.2. ÍNDICE DE ESTABILIDAD DE EMULSIÓN.....	67
4.5.2.3. CAPACIDAD DE EMULSIÓN .....	67
4.5.3. ÍNDICE DE VISCOSIDAD DEL GEL .....	68
4.5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	69
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>70</b>
5.1. pH DE LA CARNE.....	70
5.2. SOLUBILIDAD DEL pH AJUSTADO.....	74
5.3. ÍNDICE DE ACTIVIDAD DE EMULSIÓN.....	79
5.4. CAPACIDAD DE EMULSIÓN .....	81
5.5. CONTENIDO DE GRUPOS SULFHIDRILLO .....	83
5.6. SOLUBILIDAD.....	85
5.7. ÍNDICE DE VISCOSIDAD .....	86
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. POBLACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA CABRA EN EL MUNDO.....	5
TABLA 2. COMPARACIÓN QUÍMICA-NUTRICIONAL ENTRE LA CARNE DE CABRA Y DE OTRAS ESPECIES. ....	7
TABLA 3. PRODUCCIÓN DE CARNE DE LAS PRINCIPALES ESPECIES COMERCIALIZADAS EN MÉXICO .....	11
TABLA 4. RELACIÓN DE LA ESTRUCTURA-FUNCIÓN DE LAS PROTEÍNAS EN ALIMENTOS .....	12
TABLA 5. APLICACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE PROTEÍNAS EN ALIMENTOS.....	14
TABLA 6. PROPIEDADES DE LAS PROTEÍNAS EMPLEADAS EN EL ESTUDIO DE LA FUNCIONALIDAD .....	16
TABLA 7. PROPIEDADES FUNCIONALES DEBIDAS A LAS PROTEÍNAS EN CARNE Y SISTEMAS CÁRNICOS.....	19
TABLA 8. MECANISMOS Y CONFORMACIONES IMPLICADAS EN LA FORMACIÓN DE UNA MATRIZ DE GEL .....	49
TABLA 9. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES ESTUDIADAS .....	72
TABLA 10. NIVEL DE SIGNIFICANCIA ( $P > $ ) DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN .....	72
TABLA 11. PRUEBA MÚLTIPLE DE DUNCAN PARA LA ESPECIE .....	73
TABLA 12. PRUEBA MÚLTIPLE DE DUNCAN PARA LA SOLUBILIDAD DE LAS MEZCLAS PROTEICAS (MIOFIBRILARES Y SARCOPLÁSMICAS) DE LOS EXTRACTOS CON RESPECTO AL pH AJUSTADO .....	73
TABLA 13. PRUEBA MÚLTIPLE DE DUNCAN PARA EL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO .....	73
TABLA 14. PRUEBA MÚLTIPLE DE DUNCAN PARA LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PRODUCCIÓN DE CARNE DE LAS PRINCIPALES ESPECIES COMERCIALIZADAS EN MÉXICO DE 1987 A 1993.....	11
FIGURA 2. RELACIÓN FUNCIONALIDAD-ESTRUCTURA.....	13
FIGURA 3. DIAGRAMA DE VENN MOSTRANDO LA INTERDEPENDENCIA O RELACIÓN DE DIFERENTES PROPIEDADES FUNCIONALES .....	23
FIGURA 4. ILUSTRACIÓN ESQUEMÁTICA DEL CAMBIO EN LA ESTRUCTURA DEBIDO AL FENÓMENO DE AGREGACIÓN LOCAL DURANTE LA GELIFICACIÓN INDUCIDA-POR-CALOR.....	48
FIGURA 5. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA DESNATURALIZACIÓN DE PROTEÍNAS GLOBULARES DURANTE EL ALMACENAMIENTO CONGELADO .....	57
FIGURA 6. VALORES DEL PH DE LA CARNE DE CABRA Y RES .....	70
FIGURA 7. PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD DE LOS EXTRACTOS PROTEICOS CON PH AJUSTADO .....	75
FIGURA 8. ÍNDICE DE ACTIVIDAD DE EMULSIÓN DE LOS EXTRACTO PROTEICO .....	79
FIGURA 9. CAPACIDAD DE EMULSIÓN DE LOS EXTRACTOS PROTEICOS.....	81
FIGURA 10. CONTENIDO DE GRUPOS SULFHIDRILO DE LOS EXTRACTOS PROTEICOS .....	83
FIGURA 11. PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD DEL EXTRACTO PROTEICO .....	86
FIGURA 12. ÍNDICE DE VISCOSIDAD DE LOS GELES DE PROTEÍNA.....	86

## RESUMEN

El objetivo general de este trabajo fue el estudio de la funcionalidad de sistemas modelo a partir de extractos proteicos musculares de cabra y res, además del efecto del tiempo (0, 1, 2 y 3 semanas) y temperatura de almacenamiento (4°, -20° y -63°C) sobre muestras de carne empacadas al vacío.

En primera instancia, se observó el efecto del pH ajustado a una mezcla de proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas en la solubilidad del extracto, donde el efecto del pH ajustado fue altamente significativo ( $P > 0.0001$ ). Se determinó mediante una prueba múltiple de Duncan el orden de solubilidad: pH 7.3 > pH 6.3 > pH 5.3, ya que las proteínas miofibrilares -principales componentes de la proteína muscular- al estar cerca del pl (~5.3) vieron afectada su carga neta, por lo que su solubilidad sufrió una disminución. Las mezclas de los extractos proteicos de cabra tuvieron mayor solubilidad que los de res.

Posteriormente, se comparó el pH de la carne; el índice de actividad de emulsión (IAE), la capacidad de emulsión (CE), el contenido de grupos sulfhidrilo (-SH) y la solubilidad de los extractos y el índice de viscosidad de geles de proteína, entre ambas especies. Los análisis estadísticos mostraron que el pH de la carne, el IAE y el contenido de -SH de los extractos tuvieron diferencia altamente significativa ( $P > 0.0001$ ). El análisis de medias indicó mayores valores para la carne de cabra que en la de res. No hubo efecto significativo sobre la CE, la solubilidad de los extractos ni para el índice de viscosidad de los geles.

El tiempo de almacenamiento tuvo un efecto altamente significativo sobre el IAE ( $P > 0.0001$ ) y el contenido de -SH ( $P > 0.0006$ ), ya que debido a la subsecuente proteólisis que se dio durante el almacenamiento de la carne y la aparición de compuestos de menor peso molecular modificaron las interacciones proteína-proteína, proteína-lípido y proteína-solvente.

Las temperaturas de almacenamiento utilizadas en la presente Tesis, bajo las condiciones experimentales empleadas, no presentaron diferencia significativa sobre ninguna de las variables estudiadas.

## 1. INTRODUCCIÓN

La explotación y consumo de carne de cabra en nuestro país y mundialmente, aunque con un nivel de producción relativamente bajo, tiene una participación importante en ciertas regiones, ya que la carne es considerada como un subproducto de la producción de leche o pieles (Arbiza-Aguirre, 1986), además de la gran versatilidad de adaptación de la cabra a climas rústicos. La carne de cabra es considerada tanto o más nutritiva que la de otras especies (Park y col., 1991, Park y Washington, 1993, Arbiza-Aguirre, 1986, Ensminger y Park, 1986; Srinivasan y Moorjani, 1974).

Por otra parte, el empleo de especies subutilizadas en la fabricación de productos cárnicos ha cobrado importancia, sobre todo en las regiones donde estas predominan. Córdoba y col. (1984) y Chatteraj y col. (1979) investigaron sobre la producción de embutidos utilizando carne de cabra. Además de considerar a la carne como fuente de proteínas, de su actividad biológica y su obvio valor nutricional, estas contribuyen significativamente a las características tecnológicas y organolépticas de los productos alimenticios (Hietirachchy y Ziegler, 1994). Las propiedades funcionales se consideran como toda propiedad no nutricional de una proteína (Borderías y Montero, 1989, Wilding y col., 1984). Son además la manifestación de las propiedades hidrodinámicas y de superficie relativa que afectan la forma y flexibilidad de las moléculas proteicas (Damodaran, 1994). De esta manera, el entendimiento de esta funcionalidad es necesario para utilizar fuentes de proteína más baratas, no tradicionales, e introducir nuevos productos o mejorar los ya existentes (Smith, 1988).

---

Dentro de las proteínas de origen animal que tiene importancia tecnológica están las del complejo contráctil o miofibrilares (Bailey, 1982). Estas proteínas participan en tres tipos de interacciones: proteína-agua, proteína-lípido y proteína-proteína, donde estas interacciones básicas están caracterizadas por la unión de agua, la emulsificación y la gelificación (Whiting, 1988). Estas propiedades están relacionadas con las condiciones del proceso y dependen de las características moleculares de las proteínas (Kretzschmar, 1992).

El almacenamiento congelado de la carne es una de los métodos más importantes de preservación de alimentos, y durante este el deterioro y autólisis se ven disminuidas satisfactoriamente desde el punto de vista higiénico (Matsumoto, 1980). Sin embargo, existe un efecto sobre las características físicas y químicas del tejido, y por ende, de las proteínas (Miller y col., 1980), lo que conlleva a la modificación de las funcionalidad bajo las diferentes condiciones de almacenamiento (tiempo y temperaturas), afectando principalmente a la solubilidad, la capacidad de emulsión y la gelificación de estas (Jiménez-Colmenero y Borderías, 1983).

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general del presente estudio fue el caracterizar la funcionalidad de extractos proteicos musculares obtenidos a partir de carne de cabra y res, comparando el desempeño de cada especie dentro de las siguientes variables: pH de la carne, pH y su efecto sobre la solubilidad, índice de actividad de emulsión, capacidad de emulsión, contenido de grupos sulfhidrilo, y la solubilidad de los extractos proteicos, además del índice de viscosidad de geles de proteína.

Conjuntamente, se analizó el efecto del tiempo (0, 1, 2, y 3 semanas) y temperatura de almacenamiento (4°, -20° y -63°C) sobre la funcionalidad proteica en los sistemas modelo utilizados.

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. LA CABRA COMO PRODUCTORA DE CARNE

APROXIMADAMENTE el 6% de la carne roja que se consume en el mundo proviene de cabras, siendo un total de dos millones de toneladas, donde el 92% corresponde a países en vías de desarrollo. Los caprinos se explotan principalmente para la obtención de leche, y en pocos países la carne es el objeto de su cría y aún en aquellos donde se da preferencia a la producción de pieles la carne constituye un subproducto muypreciado (Arbiza-Aguirre, 1986). Mientras que la carne de otras especies animales alcanzan un precio a veces excesivo, los caprinos constituyen un alimento de buena calidad para la población de bajos recursos económicos (Agraz-García, 1981).

Como productora de carne, la cabra presenta ventajas frente a otras especies. Por ejemplo, es bien conocida su alta tasa reproductiva, corto intervalo entre partos y sobre todo su pequeña canal, de fácil conservación y rápido consumo (Arbiza-Aguirre, 1986). Esta facilidad en el manejo conlleva muchas ventajas en la conservación en áreas rurales donde la refrigeración es escasa. Debido a esto la carne de cabra es principalmente para consumo familiar en pueblos y zonas rurales, y en menor escala para suministro a los mercados en áreas urbanas (Devendra y Burns, 1983; Arbiza-Aguirre, 1986). Por otra parte, el desarrollo e interés de la explotación de cabra como productora de carne en los países desarrollados como los Estados Unidos ha ido en aumento, ya que su desempeño ha sido probado bajo diferentes condiciones de alimentación y clima (Blackburn, 1995), además de utilizarse como un

agente de control biológico, al consumir arbustos y plantas indeseables en ciertas áreas (Glimp, 1995).

Mundialmente, la mitad de la población de cabras está en Asia y África (Tabla 1)(Devendra y Burns, 1983). En países desarrollados el grueso de la población de cabra es destinado principalmente a la producción de leche y pieles, de aquí que poco se haya investigado sobre las funcionalidad de proteínas de cabra.

Región	Sacrificadas miles de cabezas (1987) <sup>a</sup>	Producción de carne (TM) <sup>a</sup>	Población (hasta 1987) <sup>b</sup> miles	Proporción a cerdo <sup>b</sup>	Consumo per capita <sup>b</sup>	% Distribución <sup>b</sup>
Asia	102,700	1,258,000	284,193	1:1.40	1:17.13	56.4
África	48,137	561,000	164,827	1:0.07	1:0.800	32.7
Europa	9,083	92,000	13,322	1:13.8	1:210.0	2.75
Sur América	5,17	65,000	19,079	1:2.80	1:32.54	6.25
Norte América	2,928	30,000	14,284	1:6.30	1:187.7	0.39
Rusia	2,700	41,000	6,491	1:12.2	1:208.4	1.28
Oceanía	109	2,000	1,487	1:3.40	1:186.8	0.33
Total Mundial	171,174	2,049,000	503,683	1:1.70	1:28.16	100.0

a- Ensminger y Park, 1986 y b- Norman, 1991

### 3.1.1. VALOR NUTRITIVO Y CLASIFICACIÓN DE LA CARNE DE CABRA

El valor nutritivo de la carne de cabra es igual o mayor al de otras especies, si se considera que es más mayor la cantidad de carne magra en la canal, lo que la convierte, proporcionalmente, en más rica en proteínas (Arbiza-Aguirre,

1986; Agraz-Garcia, 1981). Johnson y col. (1995) hacen una comparación entre cabras machos y hembras, encontrando que la hembra contiene menos humedad y más grasa y calorías totales que la carne de machos castrados o intactos. Con respecto a otras especies, en la Tabla 2 se muestra la calidad química y nutricional entre cabras y otras especies. Park (1990) reportó el efecto de la raza, sexo y tipo de tejido sobre la concentración de macrominerales en carne de cabra, a su vez Park y col. (1991) analizaron el contenido de grasa total y colesterol en vísceras y músculo de cabra. Por otra parte Park y Washington (1993) investigaron la composición de ácidos grasos en vísceras y músculos de dos razas de cabra. Además, la carne de cabra tiene un contenido mayor de aminoácidos comparada con otras dos especies, principalmente en arginina, leucina e isoleucina (Arbiza-Aguirre, 1986), por lo que se considera de mejor valor nutritivo (Ensminger y Park, 1986). Sin embargo, los músculos obtenidos de cabras que no se destinan exclusivamente a la producción de carne son nutritivamente más pobres debido a que la proteína y consumo de energía son utilizadas para leche o piel (Paschal, 1991).

Como en todas las especies, la raza, tasa de crecimiento, sistema de manejo, alimentación, peso vivo, edad, sexo, castración de machos, entre otros factores, tienen influencia sobre el peso y rendimientos de la canal. El promedio general va de un 40% a un 60%. Actualmente están siendo desarrolladas nuevas tecnologías para mejorar razas de cabras como productoras de carne (Flores-Foxworth y Kraemer, 1991).

TABLA 2. COMPARACIÓN QUÍMICA-NUTRICIONAL ENTRE LA CARNE DE CABRA Y DE OTRAS ESPECIES.

Composición de ácidos-grasos <sup>a</sup>	Res		Cerdo		Cabra	
	Músculo	Grasas de depósito	Músculo	Grasas de depósito	Músculo	Grasas de depósito
14:0	2.10	2.10	1.30	1.20	3.25	1.80
14:1	0.60	0.30	0.20	----	3.70	0.70
16:0	27.8	23.0	23.2	22.7	22.6	23.1
16:1	5.50	3.30	2.60	6.80	3.40	2.80
18:0	14.7	33.0	12.8	10.0	16.6	29.1
18:1	40.5	36.2	42.2	4.2	42.2	32.0
18:2	4.40	1.10	9.70	14.4	10.3	7.60
18:3	0.50	0.10	0.50	----	0.00	0.50
20:4	2.40	----	2.00	----	3.96	----
Contenido de Colesterol /100 g de tejido <sup>b</sup>						
en hígado	354 mg		301 mg		214.4 mg	
en riñón	285 mg		319 mg		276.7 mg	
en corazón	140 mg		131 mg		167.5 mg	
en L. dorsi	59 mg		94 mg		57.8 mg	
en B. femoris	60 mg		94 mg		69.5 mg	
Composición de aminoácidos (g/16 g N) <sup>c</sup>						
Arginina	6.8		7.4		6.6	
Histidina	3.0		2.1		2.8	
Lisina	8.1		7.5		7.9	
Triptófano	1.4		1.5		1.4	
Fenilalanina	3.4		3.5		3.3	
Metionina	2.9		2.7		3.1	
Treonina	4.5		4.8		4.6	
Leucina	7.5		8.4		7.6	
Isoleucina	4.5		5.1		4.6	
Valina	4.9		5.4		5.5	
Tirosina	3.4		3.1		3.0	
Cisteína	1.1		1.2		1.3	
Valores nutritivos varios <sup>d</sup>			Cordero			
Proteína (g/100 g)	23.6		16.5		18.7	
Humedad (%)	48		61		71	
Energía (Kcal/100 g)	340.0		263.0		165.0	
Grasa (g/100 g)	27.3		21.3		9.4	
Calcio (mg/100 g)	10		10		11	
Hierro (mg/100 g)	3.1		1.2		2.2	

a- Park y Washington, 1993; b- Park y col., 1991; c- Arbiza-Aguirre, 1986 y d- Ensminger y Park, 1986.

### 3.1.2. PRODUCCIÓN DE CARNE DE CABRA

En México, la cría y explotación de la cabra es rentable y facilita la recuperación del capital por la rusticidad en su hábitat, su bajo precio, facilidad de conversión y sus altos índices de fertilidad y reproducción, constituyendo una fuente ideal de trabajo y desarrollo en las zonas semidesérticas de la República Mexicana ya que la extensión de terreno cerril que existe con vegetación apropiada para la cabra determinan la importancia de su cría y explotación para aumentar la producción de alimentos de origen animal a bajo costo para muchas familias de bajos recursos económicos en zonas rurales y campesinas. Aproximadamente 40.9 millones de hectáreas, 20.8% de la superficies del territorio nacional, presenta condiciones de temperatura, precipitación pluvial y topografía, que hacen se considere éstas como medio ecológico idóneo para la explotación caprina, ya que no se podrían aprovechar eficientemente en forma rentable para otro tipo de ganado (Agraz-García, 1981). La Tabla 3 y la Figura 1 muestran la producción de carne de cabra en México contra otras especies más comercializadas.

La carne de cabra es obtenida de 4 diferentes tipos: 1) animales para producción de piel, 2) cabras lecheras, 3) cabras para carne y 4) cabras silvestres o de libre pastoreo (Esminger y Park, 1986). Según Arbiza-Aguirre (1986) no existe tipificación de canales en los países donde estas se sacrifican. El criterio general es la edad de la cabra, y en general se engloba en tres categorías. La primera es una producción especializada, principalmente realizada en los países de América Latina donde el cabrito o chivito es un plato de alta demanda, su precio en ocasiones supera al de los animales adultos, independientemente del mayor peso de éstos (Devendra y Burns, 1983). La producción de carne de cabrito es diferente a la de carne de adulto,

ya que este es considerado en ocasiones como un subproducto de las cabras lecheras (Mackenzie, 1993). Además, por la edad del animal esta carne es aún muy tierna (Norman, 1991). Otra razón para el sacrificio a temprana edad es la alta tasa reproductora, estimando en México que cerca del 63% de la matanza entra en esta categoría (Arbiza-Aguirre, 1986). Este alto rendimiento puede ser aprovechado por los productores de piel de cabra, ya que se pueden conseguir animales jóvenes de alto rendimiento, bien estructurados, y cubrir la demanda de cabrito. La producción de cabrito ofrece oportunidades de diversificación e incremento de ingresos a los ranchos de cabras (Sahw y Teh, 1991).

La carne de la segunda categoría, de cabras de alrededor de 1-2 años de edad, contribuye probablemente con la producción de carne más importante. El tamaño alcanzado en un año de edad varía considerablemente, siendo el peso vivo de 12.9-24.7 Kg en machos, y de 11.2-19.7 Kg en hembras. Esta variación es debida primeramente a las amplias diferencias entre razas, con la influencia secundaria de los factores ambientales y los factores genéticos. Es probable que, en términos de calidad, la mejor carne es producida por animales que están alrededor de los dos años de edad (Devendra y Burns, 1983). Los machos de este tipo están castrados y la canal es semejante a la de corderos y a la de novillos ya que en este período se trata de aprovechar al animal antes de que empiece a ganar grasa, que es el material más barato y menos comestible de la canal (Arbiza-Aguirre, 1986). En términos de terneza y sabor la diferencia es poco distinguible con la carne de cordero, ya que los animal son aún jóvenes (Ensminger y Park, 1986) además de tener una composición química y atributos de calidad mejores al carnero (Babiker y col., 1990).

La tercera categoría de carne es para animales entre 2 y 6 años de edad, los cuales ya han rebasado el pico de su producción. Estos animales pueden ser del tipo de productores de carne, leche o piel. Considerando la edad, la carne producida es generalmente dura, y un tanto inaceptable ya que no existen estándares o no son los adecuados, aunque se han realizado estudios respecto a la calidad y palatabilidad de la carne de cabra comparada con otras especies (Babiker y col., 1990; Griffiths y col., 1982; Smith y col., 1974 y 1978). La mayor cantidad de la carne comercializada proviene de animales de esta categoría (Devendra y Burns, 1983). Los machos se caracterizan por el olor y sabor fuerte, por lo que se recomienda la castración para disminuir la intensidad de estos atributos. Aunque es aceptado generalmente que la carne de los machos adultos tiene un sabor y olor no atractivo, la evidencia científica que apoya esto es inconclusa (Norman, 1991), ya que se han hecho pocos estudios en relación al tema, efectuándose principalmente en otras especies, como en res, cerdo o cordero (Baines y Moltkiewilz, 1983). Xianmin y col. (1991a) evaluaron el contenido de ácidos grasos ( $C_6$ ,  $C_8$ , y  $C_{10}$ ) en varias especies, encontrando que el ácido caprico ( $C_{10}H_{20}O_2$ ) es posiblemente el causante del característico 'olor a cabra', ya que el contenido de este es mayor en carne de cabra que en otras especies. Estos mismos autores (Xianmin y col., 1991b) estudiaron la eliminación de este olor inoculando con la microflora natural de la col a embutidos a base de carne de cabra. La carne de cabras viejas, mayores de 4 años, es a menudo procesada o picada para disimular su dureza (Norman, 1991). Horgan y col. (1991) reportan que el contenido de colágeno en carne de cabra varía de un músculo a otro y es incluso termoestable aún en edades tempranas del animal.

TABLA 3. PRODUCCIÓN DE CARNE DE LAS PRINCIPALES ESPECIES COMERCIALIZADAS EN MÉXICO (miles de toneladas)							
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
OVINO	22.06	23.64	24.78	24.70	26.26	27.87	28.67
CAPRINO	35.48	38.50	36.70	36.10	39.31	42.89	41.50
AVES	672.89	627.45	611.03	70.43	87.50	898.50	1,040
PORCINO	914.57	861.20	726.67	757.35	811.90	819.90	821.58
BOVINO	1,272.6	1,217.3	1,162.7	1,114	1,188.7	1,247.2	1,276

Confederación Nacional Ganadera, 1994.

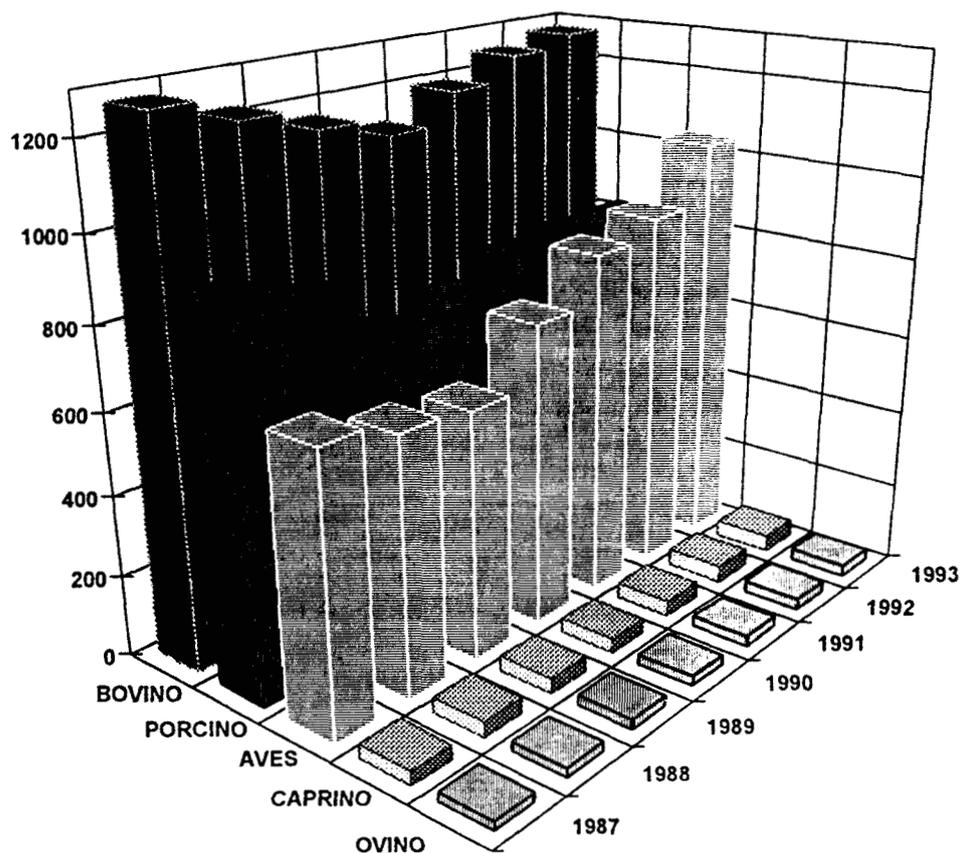


FIGURA 1. PRODUCCIÓN DE CARNE DE LAS PRINCIPALES ESPECIES COMERCIALIZADAS EN MÉXICO DE 1987 A 1993 (Miles de toneladas) (Confederación Nacional Ganadera, 1994)

### 3.2. PROPIEDADES FUNCIONALES

Las propiedades fisicoquímicas que determinan la funcionalidad de las proteínas se derivan de la composición de aminoácidos, la secuencia de éstos, y las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria de las proteínas (Pour-El, 1981). Los aminoácidos son generalmente clasificados de acuerdo a las polaridades de sus cadenas laterales, las cuales están sustituyendo al átomo C<sub>α</sub> (Voet y Voet, 1990). Los diferentes niveles de estructuración y las diferentes cadenas laterales implican una determinada funcionalidad proteica según el grado de esta, como se aprecia en la Tabla 4.

TABLA 4. RELACIÓN DE LA ESTRUCTURA-FUNCIÓN DE LAS PROTEÍNAS EN ALIMENTOS (Kinsella, 1982)
1. Composición de aminoácidos (grupos mayores)
2. Secuenciación de aminoácidos (segmentos/polipéptidos)
3. Conformación secundaria/terciaria (compacta/rizo)
4. Carga superficial, hidrofóbicidad/polaridad
5. Tamaño, forma (topografía)
6. Estructura cuaternaria
7. Interacciones secundarias (intra- e inter-peptídicas)
8. Contenido de disulfuros/sulfhidrilo
9. Condiciones ambientales (pH, redox, sales, temperatura)

La funcionalidad es la manifestación de dos importantes aspectos moleculares: 1) las propiedades hidrodinámicas, que están afectadas por la forma y flexibilidad de las proteínas; y 2) las propiedades de superficie-relativa, donde la hidrofóbicidad, hidrofilidad, fuerzas electrostáticas e impedimentos estéricos que gobiernan las características de la superficie

en contacto con otros sistemas (Damodaran, 1994). El entendimiento de la funcionalidad es más fácil mediante un detallado conocimiento de las propiedades intrínsecas de las proteínas (Tabla 5), como la composición de aminoácidos, la conformación, el tamaño y la forma molecular, la distribución de cargas, las uniones intra e intermoleculares, así como el efecto de las condiciones ambientales sobre estas (Kinsella, 1982).

La relación entre la estructura y la funcionalidad de las proteínas en alimentos es resumida esquemáticamente en la Figura 2. La solubilidad, hidrofobicidad, la carga, la polimerización (disociación o agregación), la concentración y el contenido de grupos sulfhidrilo (-SH) y disulfuro (S-S), todos en combinaciones complejas, afectan la funcionalidad. En cada escala, especialmente en la hidrofobicidad, existe una localización óptima para la funcionalidad en cuestión.

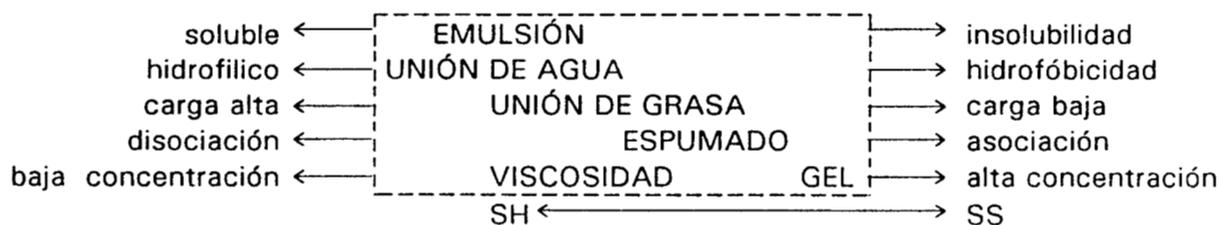


FIGURA 2. RELACIÓN FUNCIONALIDAD-ESTRUCTURA (Nakai y Li-Chan, 1988)

Pour-El (1981) comentó que en 'ningún tema en el área general de la química y tecnología de alimentos ha sufrido más de inconsistencias, confusiones y ambigüedad que el campo de la funcionalidad'. Asimismo señaló la carencia de métodos estandarizados, y dio algunas de las definiciones que son actualmente la base de la terminología en esta área.

TABLA 5. APLICACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE PROTEÍNAS EN ALIMENTOS (Kinsella, 1982)	
Propiedad general	Criterio Funcional
Organoléptico	Color, sabor, olor
Cinestética	Textura, tacto bucal, suavidad, arenosidad, turbidez
Hidratación	Solubilidad, humectación, sinéresis, viscosidad
Superficie	Emulsificación, espumación (aireación, batido), formación de película
Unión	Unión de grasa, unión de sabor
Estructural	Elasticidad, cohesividad, masticabilidad, adhesión, red de entrecruzamiento, agregación, formación de masa, texturabilidad, formación de fibra, extrudabilidad
Reológica	Viscosidad, gelificación
Enzimática	Coagulación (cuajo), tenderización (papaina), suavización ('proteasas')
'Mezclado'	Complementaridad (trigo-soya, gluten-caseína)
Antioxidante	Prevención de pérdida de sabor (emulsiones)

El papel primordial de las proteínas como alimentos es administrar al organismo aminoácidos esenciales después de haber sufrido una hidrólisis más o menos intensa bajo la acción de enzimas del aparato digestivo, lo cual se considera como función nutricional propiamente dicha. Sin embargo, la función organoléptica de los alimentos está gobernada por su aspecto, sabor y textura (Lorient, 1986) donde las proteínas imparten esa funcionalidad según se explica más adelante.

Se puede entender a la funcionalidad de proteínas como el conjunto de aquellas propiedades fisicoquímicas que contribuyen a que los alimentos exhiban ciertas características (Cheftel y col., 1992). En términos generales, la "funcionalidad" se refiere a todas propiedades no nutricionales que condicionan su utilidad, ya sea como ayuda en el

proceso o como contribuyente directo en los atributos del alimento (Borderías y Montero, 1988; Wilding y col., 1984), impartiendo propiedades deseadas por medio de las características fisicoquímicas (Whiting, 1988) las cuales se ven afectadas en su comportamiento en sistemas alimenticios durante el procesamiento, almacenamiento, preparación y consumo (Kinsella, 1982), además de ser modificadas por las condiciones ambientales (Smith, 1988). Las propiedades funcionales generalmente asociadas a las proteínas son: color, sabor, textura, turbidez, solubilidad, hidratación, gelificación, retención de agua, sinéresis, viscosidad, emulsificación, espumación, elasticidad, formación de fibras y extrudabilidad (Wilding y col., 1984). La Tabla 6 resume las aplicaciones más comunes de estas a sistemas alimenticios. La importancia de la funcionalidad en las proteínas, desde otro punto de vista, se puede agrupar en tres niveles: 1) *sensorial*, donde son responsables de propiedades como el color, sabor o poder edulcorante; 2) *de formulación*, que son las propiedades que permiten mantener características específicas en la formulación como las propiedades espumantes, emulsificantes o de unión de agua; y 3) *de proceso*, que es la facilidad de llevar a cabo un determinado proceso, incluidas en estas las propiedades de viscosidad o emulsificación (Rodríguez, 1985). Por otra parte, Pour-El (1981) clasifica la funcionalidad en tres principales grupos:

- a) Propiedades de hidratación (dependientes de las interacciones proteína-agua). Donde la conformación de las moléculas proteicas dependen de su interacción con el agua, dependiendo a su vez de los grupos polares de la proteína, de la cantidad de agua y de la actividad de agua. Las propiedades funcionales relacionadas a la hidratación, la humectabilidad y la capacidad de retención de agua, no necesitan de

solubilización o dispersión de las moléculas para su determinación; la solubilidad y la viscosidad requieren de la dispersión molecular y otras, como la gelificación, la floculación, la capacidad de emulsión, la capacidad espumante, etcetera, requieren además de una gran dispersión e hidratación de las moléculas que produzcan interacciones proteína-proteína.

- b) Propiedades dependientes de las interacciones proteína-proteína. La gelificación (agregación de moléculas desnaturalizadas para formar una red proteica ordenada, diferente a la floculación, que es una agregación desordenada) es la propiedad más importante.
- c) Propiedades de superficie. Las más importantes son la capacidad emulsionante (dispersión de dos líquidos no miscibles) y la capacidad espumante (dispersión de burbujas de gas en fase continua líquida o semisólida).

TABLA 6. PROPIEDADES DE LAS PROTEÍNAS EMPLEADAS EN EL ESTUDIO DE LA FUNCIONALIDAD (Schoen, 1977)

<p>1. Propiedades moleculares</p> <p>a) Determinación de peso molecular</p> <p>b) Distribución del peso molecular</p> <p>c) Propiedades de ionización</p> <p>d) Reactividad de cadenas laterales</p> <p>e) Morfología de las estructuras 1a., 2a., y 3a.</p> <p>2. Propiedades físicas</p> <p>a) Propiedades de hidratación</p> <p>1. solubilidad</p> <p>2. capacidad de suspensión</p> <p>3. hidratación</p> <p>4. gelificación</p>	<p>b) Propiedades reológicas</p> <p>1. viscosidad aparente</p> <p>2. fuerza de corte</p> <p>3. tendencia al corte</p> <p>4. dependencia del corte</p> <p>5. deformación y relajación</p> <p>c) Propiedades térmicas</p> <p>1. gelificación, coagulación</p> <p>2. conductividad térmica</p> <p>d) Propiedades de superficie</p> <p>1. propiedades hidrofóbicas y lipofílicas</p> <p>2. adsorción y absorción superficial</p> <p>3. espumado</p>
--	---

### 3.3. PROTEÍNAS MUSCULARES Y FUNCIONALIDAD

El músculo de los mamíferos está compuesto por tres tipos de tejido: cardíaco, liso o involuntario y estriado o esquelético. El músculo esquelético está compuesto de fibras musculares, células filamentosas largas sin ramificar, rodeadas del sarcolema, arregladas en diferentes niveles estructurales (Forrest y col., 1974). La composición del músculo varía aproximadamente entre 18 y 20% de proteína total. Las proteínas musculares pueden ser divididas en tres grupos: proteínas sarcoplásmicas (solubles en soluciones salinas de baja fuerza iónica), proteínas miofibrilares o estructurales (solubles en soluciones salinas concentradas, de una fuerza iónica entre 0.5 y 0.6), y proteínas del tejido conectivo, insolubles en las anteriores soluciones (Schut, 1976). Las proteínas miofibrilares son principalmente actina, miosina y actomiosina, entre otras. El punto isoeléctrico de estas varía entre 4.5 a 5.5. El sarcoplasma contiene proteínas relacionadas con la actividad metabólica, como la mioglobina, la miogenina, la hemoglobina, las albúminas, etc., teniendo su punto isoeléctrico (pI) entre 6.0 y 7.0 (Kretschman, 1992; Lawrie, 1974; Ranken 1985; Schut, 1976; y Bendall, 1964).

Las proteínas de origen animal que tienen importancia funcional son principalmente las del complejo contráctil o miofibrilares. Estas son el mayor contribuyente a la ternura de la carne. La miosina constituye aproximadamente un 55% del peso del complejo, la actina representa otro 20%. La actomiosina es formada por la unión reversible entre actina y miosina durante la contracción muscular (Tarrant, 1982). El rompimiento de este enlace se vuelve irreversible después de la muerte

del animal debido al agotamiento del ATP y del calcio. De aquí la importancia estructural y de soporte, ya que son las responsables del mecanismo de contracción muscular que produce fuerza y movimiento. (Bailey, 1982). Las proteínas musculares pueden considerarse como participantes en tres clases de interacciones: proteína-agua, proteína-lípido y proteína-proteína. Estas interacciones básicas están caracterizadas por las propiedades de unión de agua, unión de grasa y gelificación (Whiting, 1988). Las características funcionales son el conjunto de cambios fisicoquímicos del músculo que dependen de las condiciones iniciales del animal y el tiempo de conservación hasta el consumo o proceso, donde los principales problemas con la funcionalidad de las proteínas de la carne es el significado que tienen en producir productos para el consumo (Woloszyn, 1992). La calidad de los productos cárnicos está definida por las propiedades funcionales de las proteínas musculares, las cuales están relacionadas con la tecnología del proceso, a la vez dependen de las características moleculares de las proteínas y están influenciadas por los parámetros de proceso y condiciones del ambiente (Kretschmar, 1992). En la Tabla 7 se enlistan las propiedades funcionales de las proteínas musculares en sistemas cárnicos.

TABLA 7. PROPIEDADES FUNCIONALES DEBIDAS A LAS PROTEÍNAS EN CARNE Y SISTEMAS CÁRNICOS (Morrissey y col., 1987).		
Propiedad general	propiedad funcional	modo de acción
hidratación	unión de agua/adsorción  solubilidad viscosidad/hidratación gelificación	atrapa agua, unión de agua vía puentes de hidrógeno, etc. solubilidad inmovilización de agua entrampamiento de agua vía formación de una matriz proteica
estructural	cohesividad/adhesión  elasticidad	la proteína solubilizada actúa como material adhesivo formación de una matriz proteica vía interacciones hidrofóbicas diversas y electrostáticas en gel
unión	absorción de grasa unión de sabor	unión de grasa libre asociación, atrapamiento y liberación de componentes de sabor
superficial	emulsificación	formación y estabilización de emulsiones grasas
otras	antioxidante	previene la pérdida de sabores

En la literatura se encuentran un número considerable de reportes sobre emulsificación y gelificación. Li-Chan y col. (1985) estudiaron la correlación entre la capacidad emulsificante y la unión de grasa entre dos diferentes especies (res y pescado) encontrando que la hidrofobicidad, la dispersabilidad y el contenido de grupos sulfhidrilos afectan a estas propiedades, dependiendo a la vez del rango de pH y temperatura de calentamiento que se maneje. Por su parte, Jiménez-Colmenero y col. (1994) estudiaron la influencia del tratamiento térmico sobre la gelificación de actomiosina de diferentes especies (cerdo,

pescado y pollo), reportando que el gel tiene un comportamiento muy diferente entre estas tres especies, posiblemente debido a la diferencia en la composición de las fracciones miofibrilares. Otros estudios se relacionan con la caracterización de componentes termoestables en las proteínas. Radhakrishna y col. (1989) quienes compararon las propiedades de emulsificación entre oveja, cabra y búfalo, así como la elaboración de emulsiones estables (salchichas) combinando o comparando diferentes especies. Chatteraj y col. (1979) estudiaron modelos de emulsión entre oveja y cabra; Dzudie y Tandem (1994) hicieron estudios comparativos entre res, conejo y cabra. Turgurt (1984) reportó la capacidad y estabilidad de emulsión entre cabra, búfalo de agua, oveja y vacuno. Basu y col. (1987) estudiaron la desnaturalización de emulsiones de pescado, cabra y res, midiendo los cambios de la viscosidad de estas.

El pH, las sales, y otros factores que afectan a las propiedades funcionales de las proteínas, ya han sido estudiados por varios autores. Por ejemplo, el efecto del pH y la concentración de sales sobre la gelificación de miosina fué estudiada por Ishioroshi y col. (1979); Samejima y col. (1985) realizaron un estudio similar sobre las propiedades de gelificación y extractabilidad de proteína de res bajo diferentes condiciones de concentración de sal. El efecto de las bajas concentraciones de sal sobre la gelificación fueron estudiadas por Ishioroshi y col. (1983). Otro estudio más completo es el de Samejima y col. (1986), donde se analiza el efecto de la temperatura, la relación actina/miosina, el pH y la concentración de sales y proteína sobre la gelificación de miosina y actina reconstituida.

De la misma manera hay un efecto importante de la temperatura de gelificación, como lo reporta Jiménez-Colmenero y col. (1994) estudiando en actomiosina de diferentes especies. La viscosidad, por otra parte, se ve afectada por la concentración de proteína, el pH y la fuerza iónica (Cofrades y col., 1993). En la preparación de batidos y su gelificación, el nivel de grasa así como el proceso térmico son factores determinantes (Jiménez-Colmenero y col., 1993).

### 3.3.1. SOLUBILIDAD y pH

La solubilidad puede ser definida como el porcentaje total de proteína muscular que queda en solución bajo condiciones específicas y no es sedimentable bajo fuerzas moderadas de centrifugación (Morrissey y col., 1987). Por lo que la solubilidad en la saturación representa un equilibrio entre el soluto (la proteína) y el solvente (el agua) (Xiong, 1994).

La solubilización de las proteínas en soluciones salinas es un proceso fisicoquímico importante para la manufactura de alimentos cárnicos procesados (Xiong, 1994). La solubilidad es la más importante propiedad funcional, ya que otras, como la emulsificación, gelificación, etc., están afectadas por esta (Wilding y col., 1984 y Kretzschmar, 1992). Según Li-Chan y col. (1984), la solubilidad por si misma no es un buen predictor de la emulsificación y de otras propiedades funcionales, aunque se encuentra una alta correlación entre esta y las propiedades de emulsificación. La solubilidad depende del peso molecular, la secuencia de aminoácidos, la conformación y asociación entre las moléculas y la relación de grupos hidrofobicos en la proteína. Las proteínas en medio

acuoso tienden a formar una solución verdadera, una solución coloidal o una suspensión estable de partículas insolubles (Borderías y Montero, 1988). Las proteínas cárnicas forman en los productos picados una matriz cohesiva, la cantidad de proteína cárnica soluble depende del tratamiento previo o manejo de los músculos: maduración post-mortem, congelamiento, etc. (Lan y col., 1993). La principal ventaja de una alta solubilidad es que permita una dispersión alta y rápida, es decir, difusión a la interfase agua/aire o agua/aceite (Cheftel y col., 1985).

La Figura 3 muestra un diagrama de Venn acerca de la interdependencia o relación entre diferentes propiedades funcionales. La Figura 3(a) es la presentada por Frank (1988), y la Figura 3(b) por Hermansson y Åkesson (1975). Los parámetros usados para correlacionar las propiedades de pérdida de humedad son divididos en 4 grupos: solubilidad, hidratación, viscosidad y fuerza de gel, y ya que estos grupos no son independientes, se espera una relación 'cualitativamente' ilustrada en la Figura 3. Se consideran dos puntos de vista diferentes respecto a la interpretación de la funcionalidad inherente en los productos cárnicos, de aquí que las áreas que se entrelazan sean diferentes. De acuerdo a Frank (1988), la solubilidad se puede utilizar como índice de la viabilidad y/o desnaturalización de las proteínas, por lo que el desempeño tecnológico a menudo depende de la interacción compleja de varias propiedades físicas, ya que estas determinan los atributos tecnológicos de sistemas cárnicos modelo o de productos cárnicos, tales como vida de anaquel, pérdida de humedad y respuesta a aditivos (sales, fosfatos, etcétera) por lo que la interrelación de estas variables sería la misma. En contraparte, de acuerdo a Hermansson y Åkesson (1975), la unión del agua es el primer paso espontáneo en la hidratación, y si esta es ilimitada la

proteína se solvata, afectando las propiedades de viscosidad que están influenciadas por la solubilidad y la hidratación. Esto se refleja en una mayor relación entre la viscosidad y la hidratación, ya que en el caso de que las proteínas se solvaten, estas se hacen más solubles, aumentando la viscosidad e influenciando la fuerza del gel, aunque esta aseveración no es aplicable a todas las proteínas en sistemas alimenticios.

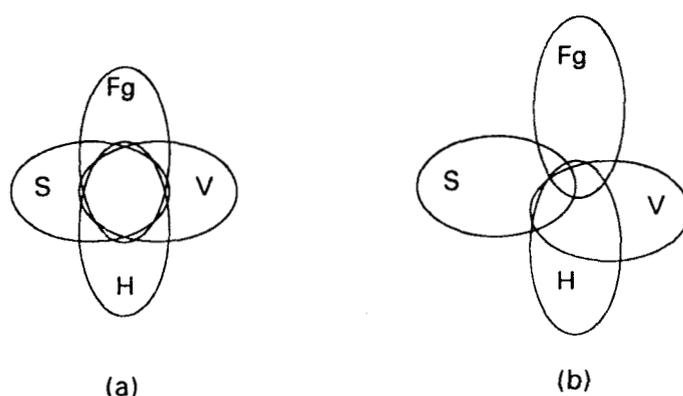


FIGURA 3. DIAGRAMA DE VENN MOSTRANDO LA INTERDEPENDENCIA O RELACIÓN DE DIFERENTES PROPIEDADES FUNCIONALES. Fg= FUERZA DE GEL; S= SOLUBILIDAD; V= VISCOSIDAD Y H= HIDRATACIÓN. (a) Frank (1988) y (b) Hermansson y Åkesson (1975).

Las variaciones en el pH modifican la ionización y la carga neta de la molécula proteica, alterando las fuerzas de atracción y repulsión entre las proteínas y la aptitud de estas últimas a asociarse con el agua. En el  $pI$  - punto isoeléctrico- las interacciones con el agua son mínimas al disminuir las cargas, sin embargo las interacciones proteína-proteína son máximas (Borderías y Montero, 1988). Los perfiles de solubilidad están definidos en función del pH, fuerza iónica y tratamiento térmico (Cheftel y col., 1985). La solubilidad tiene una influencia intensa del medio donde se encuentra (pH, temperatura, concentración de sales, interacción con

diferentes componentes alimenticios). Las proteínas tienen sus perfiles de solubilidad mínimos en función del pH cercanos al pI (Kretzschmar, 1992). El pH al cual las proteínas son extraídas probablemente podría tener un efecto sobre la relación largo-ancho de las moléculas proteicas, pero aparentemente es la fuerza iónica de la solución amortiguadora de extracción la que podría tener el mayor efecto sobre esta relación (Saffle, 1968).

En vista de que no existe un método estandarizado y universalmente aceptado para la determinación de la solubilidad, a pesar del trabajo reportado por Morr y col. (1985), el término *solubilidad*, debe, por lo tanto, tener una definición operacional, es decir, estar sujeto a las variantes en cuanto a concentración de proteína, fuerza y tiempo de centrifugación. Xiong (1994) recomienda que el término *solubilidad* acompañado de la palabra *proteína* debe usarse cautelosamente debido a que la proteína solubilizada quizás actúe como una dispersión coloidal, en vez de una solución real que no disperse la luz. Bajo estos términos, la *suspendabilidad* o *dispersabilidad* son términos adoptados ocasionalmente en la literatura relativa a las proteínas musculares, ya que "solubilidad" y "extractabilidad" son términos generalmente intercambiados, suponiendo que la proteína extraíble es soluble en la solución salina extractora.

### 3.3.2. GRUPOS SULFHIDRILLO

El contenido de los grupos sulfhidrilo, -SH, es una de las propiedades vinculadas a la naturaleza proteica, ya que se ha comprobado que una menor cantidad de grupos -SH en las proteínas

estabiliza mayor cantidad de superficie interfásial, encontrando en ello una correlación estadísticamente significativa entre el contenido de grupos SH, resultado de mecanismos de desnaturalización, y la actividad de emulsión (Ancín y col., 1989a). Los grupos -SH y disulfuro han sido implicados en muchas ocasiones en propiedades funcionales importantes en algunas proteínas alimenticias (Beverdige y col., 1974). Por otra parte, uno de los aspectos más interesantes de las proteínas musculares, particularmente desde el punto de vista funcional en el procesado de carnes, es el nivel alto de estos grupos sulfhidrilo en la miosina que contiene alrededor de 42 residuos, 12 o 13 de los cuales están presentes en cada una de las cabezas de la molécula (Morrissey y col., 1987). Hamm y Hofmann (1965) determinaron el contenido de grupos -SH y disulfuro en carnes enlatadas, encontrando que el calentamiento por encima de 70°C da como resultado un incremento importante en el contenido de los grupos -SH, debido aparentemente a la desnaturalización y desplegamiento de las proteínas musculares por la acción del calor, liberando grupos -SH que antes estaban en el interior de la molécula nativa. Estos autores reportan también que el 95% de estos grupos están presentes en el sistema de actomiosina. Debido a la importancia de estos grupos en la estabilidad de la estructura terciaria de las proteínas musculares, la digestibilidad y la proteólisis están altamente correlacionados con la funcionalidad de estas en los productos cárnicos (Morrissey y col., 1987).

Se ha encontrado que el uso del reactivo de Ellman (ácido 5,5'-ditiobis-2-nitrobenzónico, DTNB), es una herramienta sensible para determinar grupos tiol en tejido y proteínas. El DTNB es un disulfuro aromático con alto potencial de oxidación-reducción, ya que reacciona con otros grupos tioles aromáticos por un intercambio para formar una mezcla de enlaces

sulfuros con la proteína. Una mol del anión 2-nitro-5-tiobenzoato reacciona con una mol de grupo sulfhidrilo de proteína, dando como resultado un anión que tiene un color amarillo intenso, con una absorbancia molar de  $13,600 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  (Habeeb, 1972). En la presente Tesis, la cantidad de grupos sulfhidrilo se calculó por la siguiente fórmula:

$$\mu\text{Mol -SH/g} = (73.53 \text{ A D}) / \text{C} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde D es el factor de dilución de la muestra, A la absorbancia a 412 nm, C la concentración de proteína en mg/ml, y 73.53 se deriva de  $10^6$  entre  $1.36 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ , que son la conversión de base molar a base  $\mu\text{Mol}$  y la absorción molar del reactivo, respectivamente.

### 3.3.3. HIDROFOBICIDAD

#### 3.3.3.1. INTERACCIONES ENTRE MOLÉCULAS

Los diferentes tipos de interacciones que ocurren entre las moléculas proteicas tienen importancia en cuanto a la definición de sus diferentes niveles estructurales (secundario, terciario y cuaternario) además de participar en la funcionalidad que presente la proteína en el medio en el que se desempeñe. Estas interacciones o fuerzas se pueden clasificar a *grosso modo* de la siguiente manera.

## FUERZAS ELECTROSTÁTICAS

Las influencias no covalentes a las cuales están sujetas las proteínas son varias -por ejemplo, interacciones electrostáticas (atractivas y repulsivas), puentes de hidrógeno (intramoleculares y con agua) y fuerzas hidrófobas- y tienen cada una magnitudes energéticas diferentes sobre las proteínas, sumando miles de Kilojoules por mol. Consecuentemente, la estructura proteica es el resultado de un balance entre fuerzas compensatorias. Las moléculas proteicas son conjuntos de partículas eléctricamente cargadas y por ende, a un grado de aproximación razonable, sus interacciones son determinadas por las leyes clásicas de la Electrostática, donde la aplicación de la ley de Coulomb implica la determinación de la constante dieléctrica del medio en que están inmersas las moléculas, así como de cada carga (Voet y Voet, 1990).

Las interacciones iónicas son fuertes pero no estabilizan mucho a las proteínas. La asociación de dos grupos proteicos iónicos de carga opuesta son conocidos como un par-ión o puente de sal. Los iones libres en una solución acuosa están altamente solvatados, de manera que la energía libre de formación de solvatación de dos iones separados es igual a la energía libre de formación del pares-ión no solvatado. Los pares-ion por lo tanto contribuyen poco hacia la estabilidad de la estructura nativa de una proteína. Los pares-ion no solvatados inactivos rara vez se presentan en las proteínas ya que los pares-ion están expuestos al solvente acuoso, medio ambiente común de las proteínas. Las asociaciones colectivas no covalentes entre moléculas conocidas como fuerzas de van der Waals surgen de interacciones electrostáticas entre

dipolos permanentes y/o inducidos. Estas fuerzas son responsables de numerosas interacciones de varias fuerzas entre átomos vecinos no unidos. Las interacciones entre dipolos permanentes son determinantes estructurales importantes en la cadena polipeptídica en las proteínas debido a la presencia de algunos de estos grupos, tales como el carbonilo y el amino. Estas interacciones son generalmente mucho más débiles que las interacciones entre cargas de los pares-ion. Estas energías varían con la distancia así que se atenúan rápidamente al alejarse. Consecuentemente, en los núcleos de baja constante dieléctrica de una proteína, las interacciones dipolo-dipolo influyen el plegamiento proteico, ya que si estas fuerzas están en la misma dirección son aditivas. Un dipolo permanente también induce un momento dipolar sobre grupos vecinos, formando una interacción atractiva. Tales interacciones dipolo-dipolo inducido son mucho más débiles que las interacciones dipolo-dipolo. Los momentos dipolares transientes, resultado de la rápida fluctuación de movimiento de sus electrones, polarizan los elementos en un grupo vecino y por lo tanto aumentan el momento dipolar tal que los grupos son atraídos uno a otro, produciendo fuerzas extremadamente débiles llamadas fuerzas de London. El gran número de contactos interatómicos en las proteínas hacen que las fuerzas de London tengan una influencia mayor en la determinación de la configuración de las proteínas (Voet y Voet, 1990).

## PUENTES DE HIDRÓGENO

Los puentes de hidrógeno (D-H...A) son predominantemente interacciones electrostáticas entre un grupo donante ligeramente ácido (D-H) y un átomo receptor (A) por la inducción de un par de electrones.

En los sistemas biológicos, D y A pueden ser átomos altamente electronegativos, como N y O, o S. Los puentes de hidrógeno son mucho más dirigidos que las fuerzas de van der Waals, y aunque son uniones covalentes tienden a ser lineales con la unión D-H. Las uniones de hidrógeno tienen una mayor influencia sobre la estructura proteica que las fuerzas electrostáticas. Una proteína desplegada forma todos sus puentes de hidrógeno con las moléculas de agua del solvente acuoso. Debe enfatizarse que el agua es un fuerte donador de protones y por lo tanto una formadora de puentes de hidrógeno. La energía libre es por lo tanto igual a la diferencia de energía libre de los puentes de hidrógeno entre la proteína nativa y la proteína desplegada, debiéndose en general a la naturaleza electrostática del puente de hidrógeno que los hace más fuertes. Cuando la constante dieléctrica del medio es disminuida, los resultados son opuestos a lo que podía esperarse si los puentes de hidrógeno internos fueran la principal fuerza de la estabilización de la estructura proteica. Los puentes de hidrógeno de una proteína proveen una base estructural para el patrón nativo de plegamiento (Voet y Voet, 1990).

## PUENTES DISULFURO

La función fundamental de los puentes disulfuro es estabilizar la estructura tridimensional al hacer que la proteína se pliegue a su conformación nativa. El carácter químico reductor del citoplasma disminuye grandemente la estabilidad de los puentes disulfuro extracelulares, de hecho casi todas las proteínas con puentes disulfuro son secretadas a otros destinos fuera de la célula, donde aparentemente

la hostilidad del medio ambiente hacia las proteínas, como temperaturas no constantes o variación de pH, hacen indispensable la estabilidad adicional que le confieren estos (Voet y Voet, 1990).

## FUERZAS HIDROFÓBICAS

El efecto hidrofóbico es el nombre dado al efecto de que las estructuras no polares minimicen su contacto con el agua. En el caso moléculas anfipáticas, tales como jabones y detergentes, estos forman micelas en soluciones acuosas. Las proteínas nativas forman una especie de micela intramolecular en las cuales algunas de sus cadenas laterales no-polares están fuera del contacto con el solvente acuosos, por lo que las interacciones hidrofóbicas son una determinante de la estructura proteica. Los efectos hidrofóbicos se derivan de las propiedades específicas del agua como solvente, una de las cuales es su alta constante dieléctrica. En 1950 se propuso que las fuerzas hidrofóbicas son la mayor influencia en el plegamiento de las proteínas a su conformación nativa. La hidropatia de las cadenas laterales puede ser una forma de predecir cuales porciones de una cadena polipeptídica estarán dentro de la molécula proteica, fuera del contacto con el solvente acuoso, y cuales estarán en el exterior en contacto con este. En proteínas, el efecto de la fuerza hidrofóbica es llamado 'unión hidrofóbica', indicando la naturaleza específica del plegamiento proteico bajo la influencia del efecto hidrofóbico. Sin embargo, hay que tener en consideración que las uniones hidrofóbicas no generan las interacciones direccionales específicas que son asociadas con el término 'unión' (Voet y Voet, 1990).

Las interacciones hidrofóbicas son por lo tanto una de las principales fuerzas responsables del plegamiento globular de las estructuras proteicas nativas biológicamente activas. La organización proteica postula que los aminoácidos no polares están agrupados formando un núcleo hidrofóbico, el cual está rodeado por una capa de residuos polares en contacto con el solvente. El agua juega un papel importante en el plegamiento de las proteínas, una consecuencia de la hidratación es que los residuos de aminoácidos hidrofóbicos tienden a agruparse en el interior de la molécula proteica para evitar contactos con el agua, y los residuos hidrofílicos tienden a agruparse en la superficie, en contacto con el agua. Estas observaciones enfatizan la importancia de la diferencia entre hidrofobicidad de los residuos completos y la polaridad de estos (Mierovitch y col., 1980).

Debido a que los residuos de aminoácidos no polares son fáciles de posicionarse en el interior de las moléculas proteicas en solución evitando el contacto con el medio acuoso, solamente una porción de estos es considerada como contribuyente a la hidrofobicidad superficial o efectiva, no correlacionada directamente con la hidrofobicidad total. Cuando un gran número sitios hidrofóbicos son expuestos debido al desplegamiento, la solubilidad de la proteína decrece, actuando las interacciones hidrofóbicas entre los grupos expuestos y causando una agregación de las moléculas de proteína. El balance hidrofóbico-lifofílico (BHL) de los surfactantes en las emulsiones es un índice para la aproximación sistemática de la selección de emulsificantes, y es posible que exista una similitud entre la hidrofobicidad proteica y el BHL, ya que ambos están basados en la polaridad de los compuestos. De esta manera, el tamaño molecular determina el efecto conformacional o

estérico contrariamente a lo que sugiere el concepto de hidrofobicidad superficial o efectiva. Por lo tanto, el desplegamiento de las moléculas proteicas en la interfase es un fenómeno crítico, salvo en el caso de surfactantes pequeños. Los parámetros hidrofóbicos, electrostáticos e estéricos son tres características importantes que describen a las moléculas proteicas (Nakai, 1983).

La importancia de la hidrofobicidad en las proteínas en sistemas alimenticios se debe a que la funcionalidad se ve afectada por este parámetro. Esta afecta tanto a la solubilidad como a otras propiedades funcionales de las proteínas en los alimentos o sistemas modelo.

### 3.3.3.2. DETERMINACIÓN DE LA HIDROFOBICIDAD

El método del 1-anilin-o-naftalen-8-sulfonato (ANS) es el más usado en la determinación de la hidrofobicidad, sin embargo, la medición directa del ANS a las proteínas necesita precaución, ya que se reporta cambios en la emisión de fluorescencia al cambiar de solventes (Nakai y Li-Chan, 1988). Se argumenta que la rigidez molecular, más que la polaridad del solvente, es el factor dominante en la energía y cuantificación de la fluorescencia por ANS. Otro método utilizado es el del *cis*-parinarato (CPA), aunque existe similitud entre este compuesto y sus isómeros con ácidos grasos, por lo que puede existir cierta interferencia al utilizar este método en material biológico (Nakai y Li-Chan, 1988). Otras pruebas de hidrofobicidad con usos específicos son el ensayo del 2-p-toluidilnaftalen-6-sulfonato (TNS) y el 5,5'-bis[8-(fenilamino)-1-naftalen-sulfonato] [bis-(ANS)], el cual es menos disociable que el ANS (Nakai y Li-Chan, 1988). Otra opción es la cromatografía de

partición hidrofóbica, siendo el método preferido en proteínas, aunque la necesidad de utilizar solventes orgánicos inmiscibles en agua es el principal problema, ya que muchas proteínas son insolubles en estos. Otros métodos se basan en la unión de algún compuesto, como hidrocarburos o triglicéridos, midiendo la capacidad de unión de las proteínas a estos, utilizando un aceite marcado y SDS, donde la unión de este a las proteínas es de naturaleza hidrofóbica, mostrando buena correlación con la medición de la hidrofobicidad superficial. Kato y col. (1984) reportaron el uso de dodecil sulfato de sodio en la determinación de la hidrofobicidad superficial de proteínas, encontrando buena correlación entre este método y el uso del CPA. Ya que al momento no existe un método absoluto para la medición de la hidrofobicidad, en la práctica puede ser válido el uso de un método empírico como las escalas hidrofóbicas o el uso de regresión a partir de diferentes métodos empleados con anterioridad (Nakai y Li-Chan, 1988).

### **3.3.4. PROPIEDADES DE EMULSIFICACIÓN**

#### **3.3.4.1. EMULSIÓN**

Una emulsión es la mezcla de, al menos, dos líquidos inmiscibles, uno disperso en el otro en forma de gotas finas (Das y Kinsella, 1990; Terrell, 1980). Cuando la fase oleosa esta en contacto con la fase acuosa hay un aumento de tensión interfasial y el proceso de emulsificación requiere aumento considerable de energía (López y col., 1995). Es necesaria la presencia de algún agente emulsificante que baje esta tensión superficial decreciendo la energía libre y favorezca la estabilidad del sistema. El papel de los emulsificantes, además de reducir

la tensión interfasial, es formar una película (Haque y Kinsella, 1988; Das y Kinsella, 1990; Saffle, 1968), no obstante, la reducción de la tensión superficial no asegura la estabilidad de la emulsión. Las proteínas que forman una película cohesiva alrededor de las gotas de grasa proveen una barrera que disminuye el impedimento estérico sin decrecer significativamente la tensión superficial, siendo mejores emulsificadores en términos de aumento de estabilidad de la emulsión que algunos surfactantes (Haque y Kinsella, 1988). En la formación de la emulsión las moléculas de proteína se difunden hacia la interfase aceite/agua y son adsorbidas parcialmente en ella. Por otra parte, la migración de las proteínas de la solución a la interfase es termodinámicamente favorable, ya que se pierde algo de la energía conformacional y de hidratación de la proteína. Una vez en la interfase, las proteínas se despliegan para extender, reorientar, ampliar y formar una película cohesiva continua, los dominios hidrofóbicos se orientan hacia la fase apolar de aceite mientras los segmentos cargados polarmente se extienden en la fase acuosa. Las moléculas en la interfase interactúan con las moléculas vecinas e imparten fuerza y viscosidad a la película, las propiedades mecánicas y reológicas de tales películas son importantes en la formación y estabilización de emulsiones alimenticias y varía con el tipo de proteína y condiciones, tales como la concentración de proteína, pH, fuerza iónica, temperatura, etc. Hay dos teorías respecto a la estabilidad de películas macromoleculares, la primera indica que la viscosidad se debe a la viscosidad superficial y a la elasticidad de la película; la segunda le atribuye a la flexibilidad y habilidad de las proteínas para desdoblarse en la interfase (Das y Kinsella, 1990).

Los factores que afectan las propiedades de emulsificación de las proteínas incluyen: la velocidad de adsorción en la interfase aceite/agua,

la cantidad de proteína absorbida, los rearrreglos conformacionales en la interfase, la extensión de la reducción en la tensión interfasial, y la formación de una película cohesiva (Damodaran, 1994). Las propiedades funcionales que están implicadas en la estabilidad del sistema son, como se menciona anteriormente, debidas a las interacciones proteína-agua, asociaciones lipído-proteína y agregaciones proteína-proteína. Estas interacciones funcionales son experimentadas en términos de capacidad de retención de agua, capacidad de absorción de grasa y propiedades de gelificación (Lacroix y Castaigne, 1984). Para poder funcionar como un emulsificador ideal, las proteínas deben poseer varias propiedades: alta hidrofobicidad superficial, tendencia limitada a agregación proteica, suficiente hidrofílicidad para asegurar la solubilidad sobre un rango amplio de pH; alta capacidad de adsorción y capacidad para abatir la tensión interfasial; distribución buena y balanceada de dominios hidrofílicos-hidrofóbicos en la molécula, capacidad de formación de película cohesiva en la interfase aceite/agua, y alto grado de densidad de carga preferencialmente expuesta a la fase acuosa para crear una barrera de repulsión eléctrica y reducir el acercamiento de glóbulos y coalescencia del sistema (Das y Kinsella, 1990). La capacidad de gelificación y la capacidad de retención de agua (CRA) de las proteínas son factores importantes en el control de la estabilidad de emulsión (Santos y col., 1989)

#### **3.3.4.2. EMULSIÓN CÁRNICA**

Una emulsión cárnica es un sistema de dos fases, consistente en una dispersión gruesa de un sólido (grasa) en un líquido (agua) en la cual el sólido no es miscible (Saffle, 1968). La dispersión debe ser hecha con

una cantidad dada de fuerza de cizallamiento o de corte y se necesita además de un agente emulsificante para dar estabilidad a la emulsión. En las emulsiones cárnicas la fase dispersa o discontinua es la grasa y la fase continua es agua, con varios componentes solubles, como son las proteínas, formando un sistema multifásico (Schut, 1976). Es obvio que una emulsión cárnica es más estable si la tensión interfasial es baja, pero en las emulsiones cárnicas el cloruro de sodio incrementa grandemente la tensión superficial e interfasial del agua, resultando en un sistema termodinámicamente inestable (Saffle, 1968). Por otra parte, una emulsión cárnica puede ser considerada como una emulsión tipo gel, en la cual la grasa es dispersada uniformemente en una matriz continua de proteína que forman, después del tratamiento térmico, un gel. Esta emulsión tipo gel es diferente en cuanto a las propiedades fisicoquímicas de una emulsión aceite/agua en la cual la película interfasial juega un papel mayor en la estabilización y los glóbulos de grasa siempre permanecen globulares en estado de suspensión (Lee y col., 1981, Schmidt., 1981; Lan y col., 1993). En la emulsión cárnica no se utiliza el total de las proteínas disponibles (Saffle, 1968).

En productos cárnicos emulsionados las proteínas cárnicas, específicamente las proteínas solubles en sales (PSS) que actúan como agente emulsificantes, están disueltas en la fase acuosa y cubren toda la superficie de las partículas de grasa. Las proteínas miofibrilares solubles tienen las propiedades funcionales más eficientes y ayudan a estabilizar la emulsión en mayor grado que las sarcoplásmicas (Jiménez-Colmenero y Borderías, 1983; Kijowsky y Niewiarowicz, 1978a; Chen y Ockerman, 1995). Las características de las proteínas de la carne, expresadas en términos de solubilidad, porcentaje de hidratación y capacidad de

emulsificación, dependen de varios factores: especie, sexo, edad del animal, condiciones de sacrificio, tratamiento post-mortem, manejo de la carne, valor de pH y efecto de la salmuera (López y col., 1995). Las PSS son sin duda los emulsificadores primarios (Gillet y col., 1977), las proteínas del músculo se liberan en el curso del picado y salado (curado) en la elaboración de productos cárnicos emulsionados (Kijowsky y Niewiarowicz, 1978a). Durante el proceso de emulsificación, el 84% de la proteína original es extraída por la solución (Sulzbacher, 1973).

Durante el procesamiento de embutidos, en los primeros momentos de formada una emulsión esta se considera un sistema frágil, y debe de considerarse los elementos externos a que será sometida como períodos largos de almacenamiento, manejo rudo por el equipo y recorrido de las distancias de bombeo, lo que pueden sobretrabajar al producto (Rust y Knipe, 1996), lo que lleva a la necesidad de producir emulsiones más estables. De la misma manera, Rust y Knipe (1996) recomiendan los siguientes pasos para producir una buena emulsión:

- Emplear materia prima adecuada.
- Utilizar un buen sistema de proceso.
- Prestar atención cuidadosa a los ingredientes no cárnicos.
- Tener un sistema adecuado de ventilación.
- Tener un buen procesamiento térmico.

#### **3.3.4.3. ÍNDICE DE ACTIVIDAD DE EMULSIÓN**

La actividad de emulsión, o índice de actividad de emulsión (IAE), se expresa como el área superficial de proteína ( $m^2/g$  de proteína) para

un volumen dado de emulsión que se incrementa cuando el tamaño del glóbulo decrece y viceversa (Haque y Kinsella, 1988):

$$IAE = 2T / \phi C \quad \text{Ecuación 2}$$

donde  $\phi$  es la fracción de aceite en el sistema, C es la concentración de proteína (en peso) por unidad de volumen de la fase acuosa ( $\text{g}/\text{m}^3$ ), y T, la turbidez, definida, en este caso, por:

$$T = 2.303 \text{ Abs}_{500} \text{ dilución} / l \quad \text{Ecuación 3}$$

donde  $d_{\text{ilución}}$  es el factor de dilución, l es el largo de la celda (0.01 m). El IAE es función del volumen de aceite, la concentración de proteína, y el tipo de equipo usado para producir la emulsión. Cameron y col. (1991) hicieron correcciones a la fórmula de Pearce y Kinsella (1978), argumentando que las unidades de esta no son las indicadas, y llegaron a la siguiente corrección derivada de varias fórmulas:

$$IAE = 2T/C(1-\phi) \quad \text{Ecuación 4}$$

por lo que al sustituir la Ecuación 3 en la 4, se tiene finalmente:

$$IAE = 2 (2.303 \text{ Abs}_{500} \text{ dilución} ) / l C(1-\phi) \quad \text{Ecuación 5}$$

Al parecer, la principal discusión del IAE son las unidades, ya que cada autor maneja la fórmula en forma diferente, incluyendo las diluciones. Cofrades (1994), dividió la Ecuación 2 entre 10,000, posiblemente para convertir el volumen a metros cuadrados. Valenzuela (1996) simplificó la determinación utilizando la turbidez como medida del índice de emulsión. Por otro lado, Arteaga (1994), además de emplear la ecuación corregida, estableció que la concentración de SDS utilizada en esta prueba se encuentra en la concentración micelar crítica, concordando con Cameron

y col. (1991), quienes utilizaron otro detergente -Dextran- en la dilución de la muestra, ya que este estabiliza las partículas en la emulsión y mejora significativamente la reproducibilidad del método.

#### **3.3.4.4. ÍNDICE DE ESTABILIDAD DE EMULSIÓN**

Una emulsión es potencialmente inestable y con el tiempo sufre una desestabilización, separación y rompimiento (Arteaga, 1994). Operacionalmente una emulsión estable es la cual sufre de varios procesos de separación entre sus fases de agua y aceite, incluyendo estos procesos el cremado, la floculación, la coalescencia y el rompimiento de la emulsión (Pearce y Kinsella, 1978).

La estabilidad de emulsión es un fenómeno termodinámico y cinético, basándose en la consideración de que cualquier sistema tratará de alcanzar su mínima energía libre global. Para una emulsión, este mínimo es cuando la fase dispersa se convierte en una masa homogénea, y en términos prácticos, es más importante conocer la velocidad de cambio en una escala de interés, que puede ser de horas hasta años (Arteaga, 1994). La estabilidad de emulsión es comúnmente medida en términos de la cantidad de aceite y/o crema separada de la emulsión durante cierto período de tiempo a una temperatura y campo gravitacional establecidos (Pearce y Kinsella, 1978)

#### **3.3.4.5 CAPACIDAD DE EMULSIÓN**

La capacidad de emulsión denota la cantidad máxima de aceite que es emulsificada bajo condiciones específicas por una cantidad estándar de proteína por unidad de peso antes de la inversión o colapso de la emulsión (Pearce y Kinsella, 1978; Stainsby, 1986; Ivey y col.,

1970 ). La capacidad de emulsión es realmente la medición del volumen de la fase que provoca la inversión bajo condiciones arbitrarias de prueba, y no está propiamente relacionada con las propiedades de las macromoléculas. Este hecho se debe a la cantidad de proteína necesaria para formar una película en la superficie de la partícula de aceite. Algunas variables afectan la determinación de la capacidad de emulsión, siendo la velocidad de la mezcladora la más importante (Stainsby, 1986). La capacidad de emulsión no es por sí sola una propiedad de la proteína, es más bien una propiedad relacionada del sistema de emulsión, el equipo y el método empleado para producir la emulsión (Pearce y Kinsella, 1978). Las capacidades de emulsión de grasa y de estabilidad de emulsión son propiedades tecnológicas requeridas por la carne (Kijowsky y Niewiarowicz, 1978a). Cuando se introducen dos electrodos en una emulsión, la corriente eléctrica pasa fácilmente a través del sistema aceite-agua pero difícilmente por uno agua-aceite, excepto en la emulsiones en que el volumen de fase dispersa rebasa el 60% (Powrie y Tung, 1985). Durante la determinación de la capacidad de emulsión, después de la homogeneización, la conductividad de la emulsión se incrementa ya sea gradual o rápidamente dependiendo del tipo de la emulsión proteica.

La actividad de la proteína depende del área interfásica estabilizada dispersa en los glóbulos de grasa, por lo tanto es función del volumen en la fracción de aceite de la emulsión y de la concentración de proteínas. Mientras más alta es la actividad emulsionante, menor es la conductividad de la emulsión durante su formación. Por lo tanto la conductividad de la emulsión decrece dependiendo de la actividad de emulsificación de la proteína, reflejando la estabilización de las gotas de

aceite durante la emulsificación, permaneciendo relativamente baja hasta que las gotas de aceite se distribuyen continuamente al ir siendo agregadas y aumentar la conductividad de la solución, rompiéndose el sistema al incrementar el volumen de aceite que se puede emulsionar y provocando un cambio de fases y finalmente la suspensión abrupta de la conductividad (Swift y col., 1961). El rompimiento de la emulsión es un proceso que se lleva a cabo por varios mecanismos, los cuales incluyen cremado, floculación, coalescencia y separación de grasa (Kato y col., 1985). La capacidad de emulsión es relativa a la estabilidad de una emulsión concentrada bajo condiciones de alto cizallamiento o fuerza de corte y a la cantidad de aceite que puede ser estabilizado en dispersión por una cantidad limitada de proteína (Pearce y Kinsella, 1978). Por su parte, la cantidad de grasa o aceite emulsificado es relativa a la velocidad de adición de grasa (Sulzbacher, 1973) y esta tiene efecto negativo cuando excede la capacidad del equipo mezclador (Saffle, 1968). La importancia de la solubilidad ha sido enfatizada por varios autores teniendo una buena correlación entre esta y las propiedades emulsificantes de extractos de carne (Lacroix y Castaigne, 1984). La capacidad de emulsión se incrementa significativamente con el tiempo de almacenamiento debido al decremento en la solubilidad. Sin embargo, la proteína en solución es más efectiva para incrementar la capacidad de emulsión debido a su estructura, siempre que las interacciones proteína-proteína en solución sean mínimas o que exista menos competencia intermolecular en la interfase (Srikar y Reddy, 1991; Jiménez-Colmenero y Borderías, 1983). La capacidad de emulsión depende de la solubilidad y es más sensible que esta última a los cambios estructurales que ocurren en las moléculas proteicas (Jiménez-Colmenero y Borderías, 1983).

### 3.3.5. GELIFICACIÓN INDUCIDA POR CALOR

Algunas suspensiones de proteína forman geles cuando se calientan por encima de su temperatura crítica por un determinado período de tiempo. El mecanismo involucrado en esta desnaturalización iniciada por calor es a través de la formación de una red tridimensional de proteína fibrosa, debido a la polimerización de las moléculas de proteína como una consecuencia de la condensación de los aminoácidos carboxílicos (Hickson y col., 1982). La gelificación es la formación de una red continua la cual exhibe un grado de orden, contrariamente a la coagulación que es una agregación desordenada de proteínas (Tejada, 1994). El proceso de gelificación es generalmente irreversible si el método seguido es drástico y el peso molecular de la proteína es alto, debido a que la agregación ocurre para evitar el regreso al estado nativo (Ziegler y Acton, 1984). La habilidad para formar geles es un atributo importante de las proteínas la cual proporciona un mecanismo para formar alimentos estructurados (Aguilera y Kinsella, 1991), la relación entre propiedades funcionales y características estructurales se estudia con el fin de explicar la variación en el comportamiento funcional de los miosistemas o sistemas cárnicos modelo (Carballo y col., 1992). El resultado de la agregación y despegamiento inducido por calor en las proteínas musculares es la producción de una matriz que produce carnes procesadas con propiedades adecuadas de textura y capacidad de retención de agua, dependiendo de factores como la cantidad de proteína extraíble, la solubilidad proteica, las estructuras isomórficas de proteína, el pH y la fuerza iónica. La funcionalidad de la carne es derivada de cada uno de los parámetros anteriores, y de la interacción entre estos, pudiendo considerarlos como buenos predictores de la gelificación

(Foegeding, 1990). La gelificación de proteínas musculares contribuye a una textura deseable y a la estabilidad de grasa y agua en productos cárnicos procesados. Las proteínas musculares esqueléticas solubles en soluciones salinas (PSS) contribuyen a la formación de geles de proteína muscular y a la funcionalidad (Nuckles y col., 1991). En estas se establece una fuerza de gel máxima a un pH de 6.0, ya que los resultados de rigidez a diferentes pH verifican que las variaciones inherentes relativas a las estructuras isomórficas proteicas que están presentes en los diferentes tipos de proteínas miofibrilares, afectan la estructura del gel y su dureza, además de haberse observado variaciones en las propiedades de gelificación de los sistemas miofibrilares derivados de los diferentes músculos (Xiong, 1994). Otros estudios se centran en la participación de las diferentes fracciones de las proteínas y su efecto sobre la gelificación. Ejemplos de esto son los trabajos de Sakamoto y col. (1995), quienes estudiaron el mejoramiento del gel por adición de una transglutaminasa microbiana en la elaboración de surimi, así como la serie de trabajos de Samejima y col. (1982), donde se estudio el efecto de la tropomiosina y troponina sobre la gelificación de actomiosina (Samejima y col., 1982); el efecto de la extractabilidad de proteínas de res (Samejima y col., 1985); el efecto de la temperatura, pH, sales, concentración de proteína y relación de actina-miosina en la gelificación de actomiosina reconstituida (Samejima y col., 1986) y el efecto de los ácidos grasos en la gelificación de miosina (Samejima y col., 1990). Yasui y col. (1979) estudiaron los cambios en el módulo de tensión de geles de miosina en un dispositivo especial y el efecto de la actomiosina sobre la gelificación de miosina (Yasui y col., 1982). Otro trabajo importante en este campo es con respecto al efecto de la paramiosina sobre los geles elaborados de productos marinos (Sano y col., 1986).

Asimismo, los trabajos de Montejano y col. (1994) y Montejano y Morales (1990), que han dilucidado las características de geles de surimi, que minimizan la concentración de esfuerzos en los puntos donde se aplica la fuerza de torque y Montejano y col. (1983), que compararon dos métodos instrumentales, Fractura Torsional en geles tipo mancuerna y Análisis de Perfil de Textura en una Máquina Universal de Pruebas Instron, contra un panel sensorial entrenado, encontrando que no todos los parámetros evaluados tienen correlación con las evaluaciones sensoriales (Montejano y col., 1985).

La textura de los productos cárnicos depende por lo tanto de la estructura de la matriz formada, la cantidad y tipo de partículas, los solutos atrapados por la matriz del gel, y el contenido de humedad del producto final. Los siguientes factores afectan la formación de la matriz del gel: concentración de proteína, cantidad y estado del agua, tipo de fuerza iónica, tiempo/temperatura de tratamiento térmico, pH e interacciones con otros componentes (Lanier, 1991).

Las diferencias de la gelificación inducida por calor y el comportamiento de estas depende de las propiedades hidrofóbicas de las proteínas (Culioli y col., 1993). Sin embargo, ya que los geles son sistemas de multicomponentes, el modelo clásico de dos estados no es correcto para algunas proteínas con multidominios ya que estos se distinguen por tener más de un dominio plegado, ejemplos de estos son el colágeno, la miosina, la tropomiosina y la troponina (Nucles y col., 1991). La presencia de dos o más dominios plegados *a priori* establece el potencial de una molécula parcialmente desplegada (Foegeding, 1988). Para una molécula grande que tiene varias subunidades o dominios, la

transformación de la estructura nativa a una red-gel altamente entrecruzada es muy compleja. Después del calentamiento, un complejo proteico como la miosina sufre múltiples cambios conformacionales atribuibles a las diferentes estabilizaciones térmicas dentro de los varios dominios estructurales. Consecuentemente las redes proteicas pueden producir diferentes estructuras y texturas y por lo tanto, diferente rigidez de gel. El proceso de desdoblamiento debe ocurrir primero, para desarrollar un gel con un alto grado de elasticidad, y por lo tanto el paso de agregación debe proceder más lentamente que el paso de desplegamiento con el fin de permitir la desnaturalización de las moléculas proteicas y la orientación sobre sí mismas e interactuar en puntos específicos formando una red tridimensional estructurada (Xiong, 1994). Los cambios en la textura y jugosidad de la carne son debidos a la desnaturalización térmica (desplegamiento) y la subsecuente asociación de las proteínas, lo cual enfatiza la importancia crítica de estas reacciones en la química de los alimentos musculares (Foegeding, 1988). Los factores como el pH y la fuerza iónica contribuyen a la fácil desnaturalización y la velocidad de gelificación, por lo que gran parte de la naturaleza reológica del gel esta determinada por estos factores (Hickson y col., 1982). La desnaturalización térmica de las proteínas esta acompañada de un incremento neto de protones causado por cambios en los residuos ionizables del medio. La desnaturalización se manifiesta por una elevación en el pH de la solución proteica sin amortiguadores, que caracteriza la temperatura de transición (Ziegler y Acton, 1984). Es importante controlar el proceso de desnaturalización para obtener la propiedad de gel deseada, ya que la desnaturalización es un proceso o secuencia en el cual el arreglo espacial de las cadenas polipeptídicas dentro de las moléculas cambia de la proteína nativa a un arreglo más

desordenado, sugiriendo que el proceso no se refiere a eventos excluyentes, siendo un proceso continuo en varias áreas de la molécula proteica cambiando a diferentes velocidades, es decir, sin cambios en la estructura primaria. Por lo tanto, la desnaturalización puede ser restringida al proceso continuo de los cambios estructurales en las proteínas nativas, involucrando las estructuras secundaria, terciaria, y cuaternaria, con alteraciones en los puentes de hidrógeno, las interacciones hidrofóbicas, y los enlaces iónicos que ocurren durante la transición del estado sol a gel por la desnaturalización (Ziegler y Acton, 1984).

La gelificación de las proteínas miofibrilares es quizá la propiedad funcional más importante en productos reestructurados y es también responsable de la textura, viscoelasticidad del sistema, jugosidad y estabilización de emulsión de grasa en productos procesados (Ziegler y Acton, 1984, Xiong y Brekke, 1989, Xiong, 1994). En general, la gelificación de proteínas es crítica en la formación de la textura deseada en algunos alimentos, como los productos de huevo, de carne roja estructurada y de pescado. En estos alimentos se espera que la gelificación de las proteínas produzca varios niveles de dureza, cohesividad, elasticidad, masticabilidad, etc. La fuerza del gel, medida empíricamente, exhibe un cambio lineal de orden cero con el tiempo, así como un valor absoluto del módulo de Young (Hamann, 1987). La unión de agua y la textura son propiedades diferentes del gel y deben de ser tratadas separadamente cuando se evalúan (Hermansson, 1982a).

Existen varias definiciones de gel. Este puede ser descrito como un estado intermedio entre una solución y un precipitado con el balance

correcto entre las interacciones proteína-proteína y proteína solamente (Hermansson, 1982b). Xiong (1994) lo define como una red continua de dimensiones macroscópicas inmersa en un sistema líquido que exhibe un flujo no estacionario, mientras que Tejada (1994) lo define como una forma de materia intermedia entre un sólido y un líquido consistente de cadenas entrecruzadas para crear una red continua inmersa en un medio líquido.

Si el calentamiento es superior al de la temperatura de gelificación, se promueve un incremento en las interacciones proteína-proteína, ocurriendo dos eventos: el aumento de las interacciones proteína-proteína, uniforme a través de la muestra; y el incremento en interacciones locales, que son más fuertes y causan el rompimiento parcial del gel, con agregaciones posteriores como lo esquematiza la Figura 4. Tal cambio puede explicar un incremento en la pérdida de muestra por temperatura de calentamiento, ya que el agua es fácilmente desplazada a través de las grandes capilares en la estructura. Durante la compresión y penetración la cantidad de regiones densas contribuyen a un incremento de la fuerza (Hermansson, 1982b). Una de las fases esenciales del proceso de gelificación es la etapa de disociación-solubilización de las proteínas miofibrilares, causada por la adición de sales (Lamballiere y col., 1993). La interacción entre varias proteínas musculares necesita que las miofibrillas se hidraten por el NaCl adicionado en las sales de cura antes de que su estructura sea desensamblada, por lo que la gelificación no es una simple suma de las propiedades de gelificación de los componentes proteicos (Xiong y Brekke, 1989). La fuerza del gel total esta determinada no solo por la contribución relativa de varias fracciones proteicas, sino también por

interacciones las cuales están influenciadas por las concentraciones de proteína (Lan y col., 1995a). Para que el gel sea formado es necesario que la microestructura del músculo esté degradada, esto sucede parcialmente durante el picado en la formación de embutidos (Tejada, 1994).

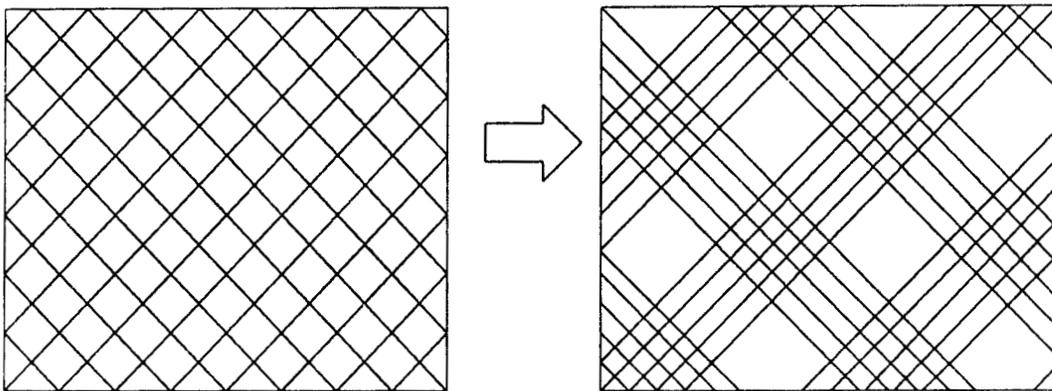


FIGURA 4. ILUSTRACIÓN ESQUEMÁTICA DEL CAMBIO EN LA ESTRUCTURA DEBIDO AL FENÓMENO DE AGREGACIÓN LOCAL DURANTE LA GELIFICACIÓN INDUCIDA-POR-CALOR (Hermansson, 1982b)

La gelificación incluye un número de cambios en las proteínas miofibrilares causando la agregación de estas en una red elástica. Como se mencionó, cuando la proteína solubilizada es calentada pierde su conformación natural y empieza a desplegarse con un incremento en la hidrofobicidad superficial ( $S_0$ ) y un decremento en los grupos reactivos totales. Esto demuestra que los residuos hidrofóbicos y los grupos sulfhidrilo (-SH) emergen a la superficie molecular como un resultado del despegamiento, que tiende a incrementar la interacción hidrofóbica y las uniones disulfuro. En la transición de sol a gel, inducida por el calentamiento, hay una fuerte influencia de los puentes de sal, puentes de hidrógeno y uniones disulfuro (Tejada, 1994).

Las interacciones cadena-cadena y cadena-solvente involucrados en la gelificación se resumen en la Tabla 8. La formación del la red del gel, así como los cambios generales en la viscosidad, involucran mecanismos dependientes de estas interacciones (Hermansson, 1979). Las propiedades de gelificación y coagulación de las proteínas son complejas y difíciles de interpretar debido a las condiciones extremadamente específicas requeridas para la formación del gel (Schmidt, 1981).

TABLA 8. MECANISMOS Y CONFORMACIONES IMPLICADAS EN LA FORMACIÓN DE UNA MATRIZ DE GEL (Hermansson, 1979)	
CADENA-SOLVENTE	CADENA-CADENA
MECANISMO(S)	MECANISMO(S)
Solubilización Disociación Hidratación Desnaturalización	Precipitación Asociación Agregación Floculación Coagulación
CONFORMACIÓN(ES)	CONFORMACIÓN(ES)
Rizo	Hélice Estructura nativa Estructura tridimensional

### 3.3.5.1. COMPRESIÓN UNIAXIAL

Son varios son los alimentos que forman geles debido a sus proteínas, esta gelificación transforma los materiales físicamente de un sol viscoso o líquido a un sólido el cual es completamente elástico en su respuesta a aplicación de la fuerza física. Los métodos de compresión son ampliamente usados en el análisis de perfil de textura (Bagley y Christianson, 1987), aunque hay métodos de tipo sensorial y/o físico (Cepeda, 1993). En los métodos estáticos se aplica de forma continua una tensión sin inflexiones, estudiando la relación tensión-deformación (Fizman y col., 1983).

La razón del interés en la medición de la compresión reológica es debida a la variabilidad que existe en la correlación obtenida entre los resultados instrumentales y la percepción psico-física de las propiedades de textura del alimento. Por otra parte, la complejidad de los sistemas alimenticios hacen importante llevar a cabo experimentos cuidadosos para poder apreciar y/o estimar la confiabilidad de datos y limitaciones de conclusiones basadas en estos. Lo anterior se aplica con igual importancia a los datos obtenidos por métodos puramente empíricos y a los métodos fundamentales o básicos. Bourne (1978) definió los métodos instrumentales, clasificándolos en tres: 1) fundamentales, que tienen poca correlación con el aspecto sensorial, ejemplos de esto es el módulo de Young o el módulo de torsión; 2) empíricos, que se derivan de la experiencia práctica de la evaluación de textura, teniendo buena correlación con el aspecto sensorial, e 3) imitativos, que tiene por objeto imitar el movimiento bucal, aquí el análisis de perfil de textura no es suficientemente bueno. De hecho, puede ser argumentado que la estimación confiable de datos es tan importante en pruebas empíricas como en estudios básicos debido a que no hay un criterio independiente para evaluar los resultados empíricos (Bagley y Christianson, 1987).

Las técnicas de evaluación de textura están basadas en la interpretación de la relación fuerza-deformación, la deformación de la compresión uniaxial es una prueba en particular que ha sido escogida debido a que forma parte de los métodos instrumentales de perfil de textura comúnmente usados. El análisis del componente de compresión da gran parte de la información necesaria para la interpretación de los resultados experimentales (Calzada y Peleg, 1978). La relación aparente y real entre la fuerza de compresión se ve afectada por el rango de estas pruebas,

que cubren la región definida como de gran deformación, suponiendo que algunas de las deformaciones están justificadas por los siguientes aspectos: a) el área de cruce seccional del espécimen es expandida y por lo tanto no puede ser siempre igual al área original; b) el esfuerzo verdadero es diferente al esfuerzo aparente, y la diferencia se incrementa con el esfuerzo (Calzada y Peleg, 1978). La compresión uniaxial puede definirse de varias maneras, siendo básicamente las fuerzas de compresión física sobre la muestra (Bagley y Christianson, 1987), sin embargo, la deformación compresional genera fricción superficial al estar en contacto con las superficies. Estas combinación de compresión y fricción dan como resultado la fuerza promedio de compresión (Bagley y Christianson, 1987).

De acuerdo a Foegeding (1990), las variables principales consideradas en el análisis de geles son la fuerza de gel y la deformación del gel ya que la especie, el contenido de proteína, la velocidad de calentamiento, y el contenido de grasa afectan al esfuerzo o fuerza en el rompimiento. El módulo de deformación (stress-strain) ha sido definido como la rigidez, endurecimiento, deformación, tangente inicial, elasticidad aparente y módulo de elasticidad, sin embargo, el "módulo de elasticidad" debe ser evitado en caso de un comportamiento no lineal o si los límites superiores de elasticidad se desconocen (Hermansson, 1982a). El término fuerza de gel es a menudo usado para determinar a la unión de agua o las características estructurales de textura. Cuando la cantidad de agua liberada es medida, la unión de agua es determinada ya sea como capacidad de retención de agua, la cual es la cantidad de agua unida por gramo de proteína, o como pérdida de humedad, la cual es la cantidad de agua liberada por gramo de muestra (Hermansson y Lucisano, 1982). La

dureza es definida como el máximo de fuerza a una compresión dada (Lanier y col., 1982). De acuerdo a Ngapo y col. (1992), el módulo de Young es un parámetro enteramente inapropiado para caracterizar geles ya que hay mucha subjetividad en la estimación de las pendientes de desplazamiento.

### **3.4. FACTORES QUE AFECTAN LA FUNCIONALIDAD DE PROTEÍNAS.**

Son muchos los parámetros que afectan las propiedades funcionales de las proteínas miofibrilares o miosistemas (Carballo y col., 1992). Estos van desde la especie, las condiciones ante- y post-mortem, el tipo de músculo que se utilice, el sexo del animal, la edad, etcétera. Otros factores importantes son las condiciones que se utilizan en el proceso de extracción, purificación y evaluación de estas propiedades, tales como la fuerza iónica de la solución, el tipo de iones empleados (mono o divalentes), el pH de la solución, el tiempo de extracción y la temperatura entre otros.

Durante el período de almacenamiento de la carne, ya sea para su maduración o para su conservación hasta su consumo, se producen cambios importantes en los componentes estructurales del músculo, como las proteínas y los lípidos. El tiempo de conservación de estas es limitado porque aún si esta es de excelente calidad y es obtenida en las mejores condiciones sanitarias, solo se conserva durante cuatro o cinco semanas siempre que su temperatura sea alrededor de los  $-1.5^{\circ}$  a  $0^{\circ}\text{C}$  y la humedad relativa sea del 90%. No se almacenan más de tres semanas si en los procesos de sacrificio y despiece no se han seguido normas

estrictas de higiene. El transporte debe ser rápido debido a la presencia en la carne refrigerada de microorganismos aerobios psicrófilos (Noskowa, 1972). Un método ampliamente empleado en la industria cárnica es el empaque al vacío, útil para incrementar la vida de almacén de carnes frescas y procesadas. El vacío, considerado como alternativa al empaque con atmósferas modificadas, constituye un medio de protección contra el deterioro químico y bacteriológico, ya que la ausencia de oxígeno modifica el medio, determinando que tipos de bacterias habrán de reproducirse y en última instancia, predominar (Guerrero y Lara, 1995). Cuando hay oxígeno disponible, microorganismos tales como las *Pseudomonas*, *Moxarella*, *Acinetobacter* y *Aeromonas* llegan a predominar rápidamente en las carnes causando su descomposición, y la producción de olores desagradables y característicos (Molins, 1993). El congelamiento y el almacenamiento congelado puede producir profundos efectos en las propiedades estructurales y químicas de los músculos, incluyendo cambios en las fibras musculares, lípidos y proteínas, todo esto afectando la calidad de la carne y sus productos (Miller y col., 1980). Sin embargo, el almacenamiento congelado ha sido utilizado para minimizar las reacciones bioquímicas en el músculo, y prevenir la contaminación bacteriana (Wagner y Añon, 1986a). Las proteínas miofibrilares (actomiosina, actina, miosina, y en menor proporción meromiosina ligera y pesada, entre otras) son importantes para mantener las propiedades de cohesión en productos cárnicos (Martone y col., 1986). Estas proteínas son responsables también de las capacidades de unión de agua y grasas, y de la estabilidad de la emulsión, según se indicó antes, y como la mayoría de las carnes transformadas en productos cárnicos procesados

están en estado post-rigor, la forma en que se inicia y resuelve la rigidez cadavérica también es determinante (Dudziak y Foegeding, 1988).

Se ha demostrado que la fragmentación de miofibrillas y la aparición de otros componentes es relativo a los cambios post-mortem en los músculos. Cheng y Parrish (1978) observaron que la proporción de miosina decrece y la de actina se incrementa con el período de maduración. Durante la etapa post-mortem se presentan cambios bioquímicos y estructurales en los músculos, siendo el más importante la contracción y la rigidez cadavérica, durante la cual ocurre el traslape de las proteínas miofibrilares, actina y miosina, debido al agotamiento del  $\text{Ca}^{+2}$  y el ATP (Hamm, 1982). Wu y Smith (1987) han hecho investigaciones sobre el ablandamiento post-mortem del músculo, enfocándose en el papel de la proteólisis en la resolución de la rigidez. Por otra parte, la fuerza iónica tiene una influencia marcada sobre las interacciones post-rigor y la solubilidad proteica. Por ejemplo, una fuerza iónica alta hace decrecer las interacciones actina-miosina en los estados de relajación, activación o rigidez del músculo (Wu y Smith, 1987). Varios estudios han demostrado la existencia de cambios en las proteínas del músculo durante sus diferentes estadios: pre-rigor, maduración o post-rigor, y en diferentes especies. Goll y Robson (1967), en un trabajo clásico en el tema reportaron la relación de la fuerza iónica con la solubilidad de las proteínas miofibrilares utilizando tres diferentes soluciones extractoras en músculo de res en pre- y post-rigor. Cheng y Parrish (1978) estudiaron este fenómeno con músculo de res en pre-rigor utilizando diferentes soluciones extractoras; Daley y Gilbert (1968) hicieron estudios con músculo de res en maduración a temperaturas arriba del congelamiento; Dudziak y Foegeding (1988) reportaron

pruebas similares con músculo de pavo en post-rigor y con diferentes soluciones extractoras; Martone y col. (1986), propusieron, basado en la solubilidad, un método rápido para obtener miosina de músculo de pescado en post-rigor mientras que Scopes (1964) lo reportó en músculo de res en diferentes etapas post-rigor, a diferentes pH, fuerzas iónicas y temperaturas. Wu y Smith (1987), llevaron a cabo estudios similares a diferentes fuerzas iónicas y diferentes tipos de sales en músculos de res en estado pre-rigor. Award y col. (1968), reportaron el estudio de músculo de res almacenado por ocho semanas a  $-4^{\circ}\text{C}$ ; Lan y col. (1993) estudiaron la extractabilidad de las proteínas solubles en sales a diferentes condiciones de pH, volumen de extracción, tiempo de homogenizado, y la fuerza de centrifugado. Otros autores hicieron aportaciones a este tema, como Miller y col. (1980), que estudiaron los efectos del congelamiento sobre los cambios funcionales en productos picados; Ito y col. (1978), analizaron los cambios en la acto-meromiosina pesada en músculo de conejo en etapa post-rigor a  $0^{\circ}\text{C}$ ; Wagner y Añón (1985), observaron los efectos de diferentes velocidades de congelamiento sobre músculo de res.

El análisis del efecto de la congelación, el calentamiento, el pH y la especie sobre las propiedades fisicoquímicas y la emulsificación y la unión de grasa fue reportado por Li-Chan y col. (1985). Otros estudios incluyen la determinación de la extractabilidad de proteínas de músculos en pre-rigor conservados a bajas temperaturas y su capacidad de gelificación con el fin de conocer el efecto del acortamiento por frío (Xiong y Blanchard, 1993). Por otra parte, los períodos largos de congelamiento tienen un efecto negativo sobre las propiedades funcionales de las proteínas de la carne. El almacenamiento a  $-20^{\circ}\text{C}$

influencia la capacidad de retención de agua, pero no afecta la capacidad de unir grasa en cerdo (Honkavaara, 1995). Gillet y col. (1977) reportan que la proteína soluble de carne congelada pierde algunas de sus propiedades emulsificantes. De esta manera, mientras más baja sea la temperatura de almacenamiento, menor será la deterioración del tejido (Carrol y col., 1981).

El principal problema en el congelamiento y descongelamiento de la carne es la formación de agregados por la deshidratación de las proteínas como resultado del desplazamiento de agua, lo que provoca que estas estén más cerca unas de otras, provocando entrecruzamientos y una rehidratación incompleta, debido a que la afinidad proteína-agua es igual o menor a la afinidad proteína-proteína, como se esquematiza en la Figura 5 (Matsumoto, 1980). La conservación de la carne por medio de bajas temperaturas provoca cambios estructurales en las miofibrillas durante el congelamiento, debido a la acción de proteasas aún activas y la interacción entre proteínas con lípidos, formaldehído y otras proteínas (Matsumoto, 1980). Gillet y col. (1977) y Lan y col. (1993) reportaron que las propiedades de emulsificación de las carnes congeladas se reduce, además de que el almacenamiento y conservación en estado congelado tienen efectos sobre las características químicas y estructurales de la carne (Miller y col., 1980). Carrol y col (1981) indicaron que a una menor temperatura será menor el deterioro del tejido, pero esto depende directamente de la calidad inicial de las muestras, reportando poco cambio a nivel estructural. Bevilacqua y Zaritzky (1982) coinciden con esta observación. Honkavaara (1995) reportó que el almacenamiento a  $-20^{\circ}\text{C}$  no tiene influencia sobre la capacidad de unión

de grasa en carne de cerdo, pero si afecta a la capacidad de retención de agua.

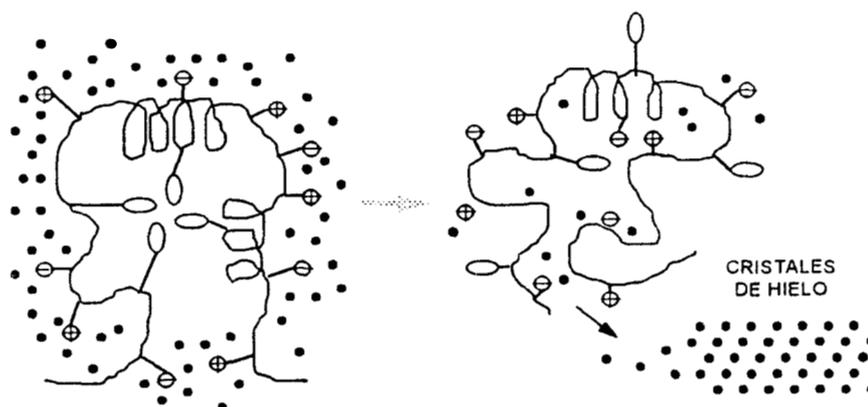


FIGURA 5. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA DESNATURALIZACIÓN DE PROTEÍNAS GLOBULARES DURANTE EL ALMACENAMIENTO CONGELADO (Matsumoto, 1980).

### 3.5 USO DE SISTEMAS MODELO

El conocimiento actual de las propiedades funcionales está basado en el comportamiento de las proteínas de manera individual en sistemas modelo simples. Los resultados obtenidos de tales sistemas a menudo no predicen adecuadamente el comportamiento en alimentos reales preparados bajo condiciones de proceso industrial. Los extensos cambios conformacionales que ocurren en estas condiciones y las interacciones múltiples de las proteínas con otros constituyentes del alimento a veces hacen imposible trasladar los resultados de un sistema modelo en la predicción del comportamiento de las proteínas a los sistemas

alimenticios reales (Harper, 1984). De esta manera, las aproximaciones por prueba-error son usadas por los industriales cuando hacen substituciones de ingredientes y modificaciones al proceso. Estas aproximaciones ocupan tiempo y son caras. Cuando las bases bioquímicas de la gelificación de proteínas o la emulsificación de grasas y los factores que influyen estas propiedades de los productos terminados son entendidas, los industriales estarán en posición de manipular científica y económicamente las propiedades de las proteínas para desarrollar las texturas deseadas en el proceso de productos cárnicos (Smith, 1991).

Muchas de las propiedades funcionales y fisicoquímicas de las proteínas de la carne han sido estudiadas en sistemas modelo, donde las condiciones son diferentes a lo que se maneja en realidad. Smith (1988) propone investigaciones en los siguientes campos: 1) la estandarización de métodos de prueba, para poder comparar los resultados obtenidos entre investigadores y 2) el establecimiento de sistemas modelo de prueba donde se correlacione la funcionalidad de la proteína en productos cárnicos. Pour-El (1981) define los criterios experimentales que construyen las leyes generales para el estudio de sistemas modelo, teniendo: a) proteínas puras de estructura conocida, estudiadas en presencia de uno o varios constituyentes puros; b) proteínas puras de estructura conocida, estudiadas en un medio alimentario complejo; y c) proteínas puras de estructura conocida, estudiadas en un sistema modelo complejo de compuestos proteicos y no proteicos. Los sistemas modelo son de composición simple (Lacroix y Castaigne, 1984) en comparación con los sistemas biológicos que son de naturaleza muy compleja, donde muchos factores afectan las relaciones entre las diferentes propiedades

funcionales (Jiménez-Colmenero y Borderías, 1983). Los factores que afectan la formación y estabilidad de las emulsiones cárnicas pueden ser determinados con suficiente precisión en los sistemas modelo desarrollados. Con el fin de simplificar la investigación de la participación de los ingredientes, los sistemas modelo permiten la combinación de dos o más sustancia bajo condiciones controladas que son generalmente utilizadas (Sulzbacher, 1973). El equipo comercial tiene muchas desventajas para estudiar los factores fundamentales en las emulsiones cárnicas, ya que es muy difícil y a veces imposible mantener todos los factores constantes (Saffle, 1968; Sulzbacher, 1973). Los sistemas modelo aproximan a la obtención de valores cuantitativos de capacidad de emulsificación y de otras propiedades funcionales, además de proveer una manera simple y racional de evaluar nuevos ingredientes (Sulzbacher, 1973). Como ya se mencionó, el término proteínas solubles en soluciones salinas (PSS) es usado para describir a las proteínas extraídas del músculo por soluciones salinas. A diferencia de las miofibrillas, no hay un estándar para estas preparaciones, así que las proteínas que comprenden las PSS dependerán del método de aislamiento. En comparación a las miofibrillas, las PSS representan a las proteínas extraídas y solubles bajo condiciones definidas (Foegeding y col., 1991). No obstante, los sistemas miofibrilares son más cercanamente parecidos a las carnes procesadas que los sistemas de miosina, debido a la existencia de estructuras isomórficas de tropomiosina, troponina y  $\alpha$ -actina, además de miosina. El complejo miofibrilar tiene dependencia al tipo de fibra, la cual no es patente en la miosina sola, ya que existen desviaciones entre los estudios de modelos de agregación y las situaciones reales del procesado de carne relativos al tipo de músculo (rojo y/o blanco), fibra o proteína (Xiong, 1994). Por

otra parte, entre las diferencias principales entre sistemas reales y modelo la fuerza de cizallamiento aplicada a un sistema modelo es más grande que los aplicados en los equipos industriales durante la extracción de proteínas (Lacroix y Castaigne, 1984; Saffle, 1968).

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el análisis del efecto de los tratamientos, de las dos especies (cabra y res), a tres diferentes niveles de temperatura (-63°, -20° y 4°C), y cuatro niveles de tiempo de almacenamiento (0, 1, 2 y 3 semanas), se aplicó un diseño factorial, donde el conjunto de tratamientos consiste en todas las combinaciones posibles de los niveles de los diferentes factores (Steel y Torrie, 1988). Este tipo de diseños es de gran valor en trabajos exploratorios cuando se sabe poco sobre niveles óptimos de los factores, en este caso, la funcionalidad de las proteínas. El diseño factorial fue entonces de 2x3x4 (especiex temperaturax tiempo).

### 4.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

La carne de res se obtuvo de carnicerías locales, mientras que la carne de cabra se adquirió en el rastro municipal de Cd. Nezahualcoyotl, Estado de México. Se desconoce la edad, sexo y condiciones ante-mortem de los animales. Se procedió a limpiar de tejido conectivo a la carne, cortando trozos de 30 a 50 gramos, de un centímetro de espesor, perpendicularmente a las fibras musculares, según lo recomiendan Wagner y Añon (1985). Se empacaron al vacío en bolsas CRYOVAC<sup>®</sup> LB-50, con una empacadora al vacío Multivac D-8941 (Koch, Kansas City, EE.UU.) a una presión de vacío de -700 mBars. Las muestras se asignaron al azar a las tres temperaturas de experimentación: 4°C, -20°C y -63°C. Las dos

primeras temperaturas se alcanzaron en un refrigerador y en un congelador comerciales, mientras que las muestras a  $-63^{\circ}\text{C}$  se alcanzaron en un ultracongelador Biofreezer Revco (Forma Scientific Inc., U.S.A.). Se tomaron muestras cada semana por un total de 3 semanas.

#### 4.2.1. EXTRACCIÓN DE LAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES

Todos los pasos de extracción se llevaron a cabo a  $4^{\circ}\text{C}$ , las soluciones extractoras y la licuadora utilizada, estaban previamente enfriadas a esa temperatura.

Para la extracción de las proteínas solubles en sales (PSS) se modificó la metodología de Li-Chan y col. (1984), donde se molieron 10 g de carne con 100 ml de una solución amortiguadora de baja fuerza iónica (0.1 M NaCl, 1 mM  $\text{MgCl}_2$ , 10 mM fosfatos de sodio,  $\text{pH}=7.4$ , 0.2 %  $\text{NaN}_3$ ) homogeneizando por un minuto en una licuadora convencional a velocidad media. Después se centrifugó a  $2,000 \times g$ , durante 15 minutos en un centrifuga refrigerada Beckman J2-M1 (Beckman Inc., Palo Alto, Cal.) a  $4^{\circ}\text{C}$ . El sobrenadante se filtró en papel Whatman No.1, y se conservó como fracción sarcoplásmica. El precipitado se resuspendió en 100 ml de una solución amortiguadora de alta fuerza iónica (0.6 M NaCl, 1 mM  $\text{MgCl}_2$ , 10 mM fosfatos de sodio,  $\text{pH}=7.4$ , 0.2 %  $\text{NaN}_3$ ) con agitación magnética a velocidad media-alta durante 4 horas, después se precipitaron las PSS bajando la fuerza iónica de la solución a 0.1 M, añadiendo 600 ml de agua destilada fría, y dejando reposar toda la noche. Al día siguiente se aspiró cuidadosamente el sobrenadante, centrifugando el precipitado a  $2,200 \times g$  durante 20 minutos. El precipitado se resuspendió finalmente en 50 ml de la solución amortiguadora de alta fuerza iónica por agitación magnética

hasta resuspender totalmente a velocidad media. Esta se consideró como la fracción de PSS y el contenido de proteína se ajustó según el caso con la solución de alta fuerza iónica y se almacenaron a 4°C hasta el momento de las pruebas. Las suspensiones proteicas fueron utilizadas para solubilidad y pruebas de emulsificación.

Para evaluar las propiedades de gelificación se utilizó el método reportado por Xiong y Anglemier (1989). Se molieron 25 gramos de carne con 4 volúmenes de una solución extractora de baja fuerza iónica (0.1 M NaCl, 0.05 M fosfatos de sodio, pH=7.4, 5 mM EDTA, 1 mM NaN<sub>3</sub>) homogenizando en una licuadora convencional por 90 segundos a velocidad alta. Este extracto se resuspendió a velocidad media por agitación magnética por 30 minutos. Después se centrifugó a 10,000 x g durante 15 minutos, y el precipitado se resuspendió en la misma solución (4 volúmenes) en la licuadora por 30 segundos a velocidad máxima, agitando magnéticamente por una hora velocidad media, seguido de una centrifugación a 2,000 x g por 15 minutos. Este paso se repitió tres veces, hasta resuspender en una solución de cloruro de sodio (0.1 M, 1 mM NaN<sub>3</sub>, 4 volúmenes) haciendo 3 lavados consecutivos con una centrifugación entre cada uno a 2,000 x g durante 15 minutos. Este precipitado se resuspendió en 8 volúmenes de la misma solución y se ajustó el pH a 6, se centrifugó y se dejó reposar por 12 horas. Después el precipitado se resuspendió en una solución de alta fuerza iónica (0.6 M NaCl, 0.05 M fosfatos de sodio, pH= 6.0, 1 mM NaN<sub>3</sub>), se ajustó el contenido de proteína a 5 mg/ml con la solución de alta fuerza iónica y se dejó reposar por 24 horas. Al día siguiente se centrifugó a 5,000 x g por 15 minutos, ajustando al concentración de proteína del precipitado a 15 mg/ml con la misma solución anterior.

## 4.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

### 4.3.1. CONTENIDO DE PROTEÍNA

El contenido de proteína se determinó por el método de Biuret, según la modificación de Alanís-García (1993) al método de Gornal y col. (1949). Para valorar el reactivo se elaboró una curva estándar con albúmina sérica bovina (10 mg/ml), haciendo las diluciones pertinentes. El procedimiento fue el siguiente: a 1 ml. de muestra en un tubo de ensaye se le adicionaron 3 ml del reactivo de Biuret, agitando en un Vortex 'Super-Mix' modelo 1290 (Lab-Line Inst., EE.UU.) por unos segundos para homogenizar la mezcla, dejando a temperatura ambiente por 30 minutos. Se midió la absorbancia a 540 nm en un Espectrofotómetro Beckman DU-650 (Beckman Inst., Fullerton, U.S.A.).

### 4.3.2. DETERMINACIÓN DEL pH

El pH de cada una de las muestras se determinó midiendo este en un potenciómetro Conductronic pH20 (Fisher, México), a temperatura ambiente, homogeneizando en un licuadora convencional a máxima velocidad, por 30 segundos, 10 gramos de carne en 1:10 (p/v) de una solución 1% de NaCl, según lo recomendado por Landvogt (1991).

## 4.4. ANÁLISIS ESTRUCTURALES

### 4.4.1. GRUPOS SULFHIDRILO

Se siguió la metodología reportada por Cofrades (1994). A temperatura ambiente, a un mililitro de la solución proteica se adicionaron 9 ml de una solución de urea 8 M en una solución amortiguadora Tris-glicina-EDTA, pH=8.0, dejando reposar 30 minutos. Después se tomaron 3 ml a una celda de vidrio, añadiendo 50 µl del reactivo de ácido 5,5'-ditiobis-2-nitrobenzónico (4 mg/ml, en la misma solución amortiguadora), mezclando invirtiendo la celda y dejando reposar otros 30 minutos, leyendo la absorbancia a 412 nm.

## 4.5. ANÁLISIS FUNCIONALES

### 4.5.1. SOLUBILIDAD y pH

Para el efecto del pH sobre la solubilidad, se procedió a hacer mezclas de extractos sarcoplásmicos y miofibrilares, a fin de obtener una relación semejante a la de las proteínas en el músculo vivo. Del contenido total de proteína en el músculo, el 10% corresponde a las miofibrillas o solubles en sales (actina, miosina y actomiosina, entre otras) y un 6% a las proteínas sarcoplásmicas. De acuerdo a esto, se hicieron las mezclas entre los dos extractos obtenidos a fin de obtener una relación 10:6, es decir, 10 mg de proteína miofibrilares y 6 mg de proteína sarcoplásmica, en tubos de ensayo a un volumen total de 10 ml. Las mezclas se homogeneizaron en un Vortex 'Super-Mix' modelo 1290 (Lab-Line Inst., EE.UU.) a velocidad 4, evitando la formación de espuma, durante aproximadamente 30 segundos. El pH de estas se ajustó con pequeñas cantidades de HCl 0.01 M o NaOH

0.01 N, agitando cuidadosamente en el Vortex mientras se llegaba al pH deseado, midiéndolo con un Potenciómetro  $\Phi$ 50 pH METER (Beckman Inst., Fullerton, U.S.A.). Se hicieron tres mezclas de cada temperatura para tres diferentes pH: uno entre a 5.3-5.5, otro sin ajustar cuyo pH estaba entre 6.3-6.5 y un ultimo entre 7.3-7.5. Las muestras de dejaron incubando por 12 horas al menos, a 4°C. La solubilidad se determinó según el método propuesto por Li-Chan y col. (1984), donde la muestra se centrifugó un tubo a 27,000 x g durante 30 minutos a 4°C, y un testigo sin centrifugar. Se determinó el contenido de proteína como se indicó en la sección 4.3.1. del sobrenadante reportando la solubilidad como la relación del contenido proteína del sobrenadante entre el contenido de proteína de la muestra sin centrifugar por 100.

## **4.5.2 PROPIEDADES DE EMULSIFICACIÓN**

### **4.5.2.1 ÍNDICE DE ACTIVIDAD DE EMULSIÓN**

Para determinar el IAE se siguió la metodología reportada por Pearce y Kinsella (1978) y Voutsinas y col. (1983). Se tomaron 2 ml de aceite de girasol (Aceites CASA, S.A., México) más 6 ml de suspensión proteica ajustada a 5 mg/ml, en un tubo de vidrio (2.7 cm diámetro por 9.2 cm alto), homogenizando por un minuto, a temperatura ambiente, con un mezclador-homogenizador Oster (Sunbeam Mexicana, S.A. de C.V., México) a una velocidad aproximada de 12,000 rpm. Se dejó reposar un minuto, se tomó una alícuota de 0.5 ml y se diluyó en 4.5 ml de una solución de SDS al 0.1%, dispersando manualmente la muestra, transfiriendo a una celda de vidrio y leyendo la absorbancia a 500 nm. La

muestra fue diluida a este nivel puesto que a diluciones mayores no se obtenía un valor reproducible.

#### 4.5.2.2. ÍNDICE DE ESTABILIDAD DE EMULSIÓN

Para determinar el Índice de estabilidad de se siguió la metodología de Cofrades (1994), donde se tomaron alícuotas de 0.5 ml y se resuspendieron en 4.5 ml de una solución de 1% de SDS cada minuto hasta observar la separación de las fases. Sin embargo, el índice de Estabilidad de Emulsión no pudo ser determinado, ya que en las pruebas realizadas a través del tiempo no se obtenían valores reproducibles y la variación entre repeticiones era muy amplia.

#### 4.5.2.3. CAPACIDAD DE EMULSIÓN

La capacidad de emulsión se determinó por conductividad eléctrica, método basado en la resistencia o conductividad eléctrica específica de una emulsión (Swift y col., 1961). Para esto, se fabricó un tubo de 3.2 cm diámetro por 10 cm alto, donde se colocaron dos alambres de cobre No. 14 como electrodos a medio centímetro del fondo. Se adicionaron 10 ml de aceite de girasol (Aceites Casa, S.A. de C.V., México) más 5 ml de solución proteica ajustado a 5 mg/ml con solución de alta fuerza iónica, homogenizando con un mezclador Oster (Oster Mexicana, S.A. de C.V.) por 5 segundos y adicionando inmediatamente después aceite con una bureta de 25 ml, a una velocidad de 1 ml/6-7 seg., registrando la resistencia eléctrica con un multímetro digital Tektronix CDM 250 (Tektronic Inc., Beaverton, U.S.A.) hasta que ésta se vio interrumpida abruptamente. Se

determinaron los mililitros adicionados y se reportan por 100 mg de proteína.

#### 4.5.3. ÍNDICE DE VISCOSIDAD DEL GEL

La gelificación inducida por calor se realizó pesando 10 g del extracto en tubos de vidrio (16 mm diámetro x 80 mm de alto), calentando en Baño María desde temperatura ambiente hasta 60°C, con un aumento aproximado de 1°C/min. Se enfrió inmediatamente en baño de hielo y ahí permaneció hasta el momento de la prueba. Las pruebas reológicas se llevaron a cabo en una Máquina Universal de Pruebas Instron® Modelo 4502, por medio de una prueba de compresión, penetrando 75% de la muestra (30 mm) con un vástago de 6 mm de diámetro, a una velocidad de 0.167 mm/seg. con una celda de 10 N.

Los geles de proteína generalmente se comportan como fluidos viscoelásticos no-newtonianos. Sin embargo, las ecuaciones de fluidos no-newtonianos en la prueba de retro-extrusión de flujo contrario (counter-flow back extruder) no están disponibles. De esta manera, de acuerdo a Hickson y col. (1982), se supuso que las ecuaciones para fluidos newtonianos podrían ser usadas para evaluar un "índice" relativo a las propiedades reológicas del gel. Por esta razón, los valores obtenidos fueron reportados como "índices", fueron calculados según la siguiente fórmula:

$$\eta_I = 1/(2p v_p) [F_p/L_p][1-K^2] \ln[1/K][1 + (\alpha/\ln K)] \quad \text{Ecuación 6}$$

donde:

$V_p$  = velocidad de penetración del vástago, en mm/seg.;  $F_p$  = fuerza requerida para mover el vástago a través del gel, en N;  $L_p$  = distancia que penetra el vástago a través del gel, en mm;  $K$  = Radio del vástago entre Radio del tubo, en mm y  $\alpha = (1-K^2)/(1+K^2)$ . Se reportó el índice de viscosidad en centipois.

#### 4.5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados estadísticos se analizaron por el procedimiento ANOVA, así como la comparación múltiple de medias por Duncan dentro del mismo paquete estadístico SAS adaptado a una computadora personal Hewlett Packard Vectra VL2 4/50.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1 pH DE LA CARNE

Los valores de pH fueron más altos en la carne de cabra en todas las temperaturas estudiadas que en la de res (Figura 6). La Tabla 9 muestra la diferencia significativa ( $P < 0.0006$ ) de los tratamientos sobre el pH de la carne. Sin embargo, en la Tabla 10 se aprecia que la variación se debió únicamente al efecto de la especie ( $P < 0.0001$ ) lo que se corroboró al llevar a cabo una prueba múltiple de Duncan (Tabla 11) en donde el valor de pH de carne de cabra ( $\text{pH} = 5.71$ ) fue diferente significativamente al de res ( $\text{pH} = 5.49$ ).

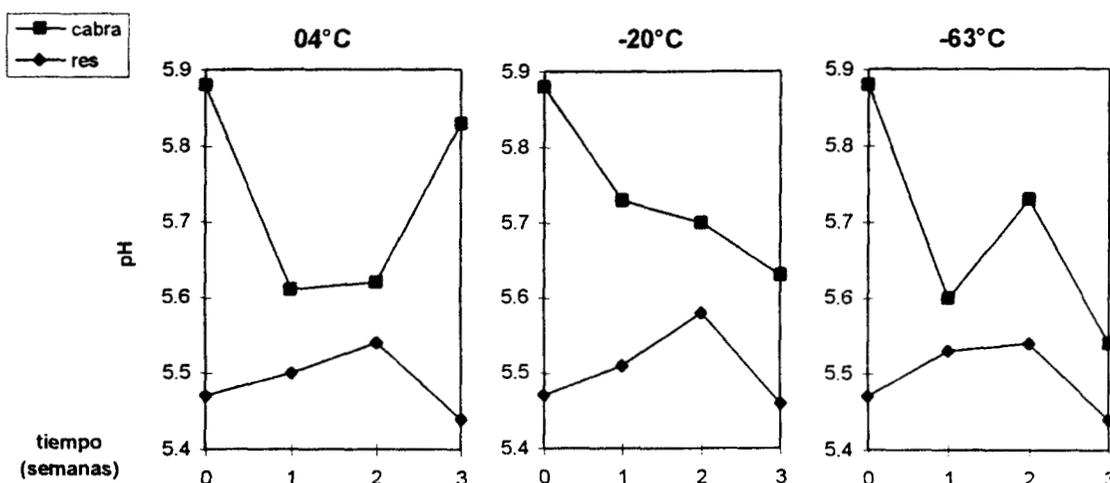


Figura 6. Valores de pH de la carne de res y cabra.

La glucólisis post-mortem y la subsecuente proteólisis conducen a cambios en el pH de la carne, por otra parte, durante la congelación (a -20° y -63°C) se produce la reducción del agua libre que provoca la concentración de

sales y compuestos de bajo peso molecular en la porción de agua no congelada, ocasionando cambios en el pH y fuerza iónica del sistema (Badui, 1981). El ácido láctico producido durante la glucólisis post-mortem provocan cambios en el pH, y a valores bajos de pH hay una menor hidratación de las miofibrillas, que se refleja en una menor capacidad de retención de agua (Stanley y col., 1994). Öztan y Wral (1993) consideran que el pH es un criterio importante en el contenido de agua libre y la capacidad de retención de agua de la carne. El pH final del músculo tiene efecto sobre las propiedades de las proteínas, aunque Kijowski y Niewiarowicz (1978a) no reportan efecto de diferentes valores de pH final de carne de pollo sobre la capacidad de emulsión sobre las proteínas extraídas de estos. Por otro lado, se ha reportado que extractos de músculo en pre-rigor (un pH alto) tiene un menor grado de desnaturalización y mejor funcionalidad que las extraídas de músculo en post rigor (Lan y col., 1993). Kijowski y Niewiarowicz (1978b) reportan la evidencia del efecto del pH final de la carne sobre la calidad de embutidos de pollo, el cual produce variaciones de la capacidad de formación de gel. Para los tratamientos utilizados en este estudio, los diferentes niveles de temperatura y tiempo de almacenamiento no influyeron significativamente sobre el pH de la carne, siendo solamente las diferencias entre especies la que lo afectaron.

Blanchard y Mantle (1996) reportan que la velocidad de la suavización post-mortem de la carne durante el almacenamiento refrigerado varió notablemente entre especies (pollo, cordero, cerdo y conejo), concluyendo que la diferencia de la velocidad de suavización de la carne entre diferentes especies no puede ser explicada únicamente en términos de diferencia en la capacidad proteolítica del músculo, ya que si el pH final de la carne tiene importancia en la suavización de la misma, otros factores potenciales, como

la velocidad de descenso de pH, la velocidad de glucólisis, la osmolaridad, las interacciones y concentraciones de actina/miosina y la acción de proteasas (Goll y col., 1995), influyen también a la suavización del músculo estriado.

**Tabla 9. Análisis de Varianza de las propiedades funcionales estudiadas.**  
La  $Pr > F$  es la mínima para rechazar el modelo.

Variable de respuesta	modelo	error	
	$Pr > F$	CM	$R^2$
pH	0.0006	0.0080	0.7194
SOL <sub>pH</sub> <sup>1</sup>	0.0001	18.8626	0.5905
IAE	0.0001	49643.7706	0.6823
CE	0.0016	47.7312	0.3920
SH	0.0043	63.3153	0.3564
SOL <sup>2</sup>	0.0946	69.3070	0.2225
Índice de Viscosidad	0.2938	4848.6877	0.4653

**Tabla 10. Nivel de significancia ( $P >$ ) de las fuentes de variación.**

variable de respuesta	Fuente de variación			
	especie	tiempo	temperatura	pH <sub>ajustado</sub>
pH	0.0001	0.1535	0.8080	-----
SOL <sub>pH</sub> <sup>1</sup>	0.0001	0.0517	0.3206	0.0001
IAE	0.0001	0.0001	0.7843	-----
CE	0.1996	0.0003	0.5284	-----
SH	0.3373	0.0006	0.7832	-----
SOL <sup>2</sup>	0.0494	0.2546	0.1940	-----
Índice de Viscosidad	0.9625	0.1212	0.6034	-----

<sup>1</sup> determinada a 27,000 x g durante 30 minutos

<sup>2</sup> determinada a 25,000 x g durante 15 minutos

Tabla 11. Prueba múltiple de Duncan para la especie\*.

variable	cabra	res
pH	5.7192 <sup>a</sup>	5.4958 <sup>b</sup>
SOL <sub>pH</sub> <sup>1</sup>	33.149 <sup>a</sup>	30.028 <sup>b</sup>
IAE	2141.88 <sup>a</sup>	1726.75 <sup>b</sup>
CE	73.6 <sup>a</sup>	71.0 <sup>a</sup>
SH	39.405 <sup>a</sup>	41.635 <sup>a</sup>
SOL <sup>2</sup>	43.146 <sup>a</sup>	38.279 <sup>b</sup>
Índice de Viscosidad	247.02 <sup>a</sup>	245.06 <sup>a</sup>

\*medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 12. Prueba múltiple de Duncan para la solubilidad de las mezclas proteicas (miofibrilares y sarcoplásmicas) de los extractos con respecto la pH ajustado\*.

variable	5.3	6.3	7.3
SOL <sub>pH</sub> <sup>1</sup>	28.002 <sup>c</sup>	32.436 <sup>b</sup>	37.328 <sup>a</sup>

\*medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 13. Prueba múltiple de Duncan para el tiempo de almacenamiento\*.

variable	0	1	2	3
pH	5.67 <sup>a</sup>	5.58 <sup>ab</sup>	5.62 <sup>ab</sup>	5.56 <sup>b</sup>
SOL <sub>pH</sub> <sup>1</sup>	32.085 <sup>ab</sup>	34.971 <sup>a</sup>	32.307 <sup>ab</sup>	30.992 <sup>b</sup>
IAE	1670.72 <sup>b</sup>	1769.74 <sup>b</sup>	2118.04 <sup>a</sup>	2178.76 <sup>a</sup>
CE	64.975 <sup>c</sup>	76.283 <sup>ab</sup>	70.958 <sup>b</sup>	76.983 <sup>a</sup>
SH	37.748 <sup>b</sup>	36.063 <sup>b</sup>	38.723 <sup>b</sup>	49.548 <sup>a</sup>
SOL <sup>2</sup>	37.675 <sup>a</sup>	39.642 <sup>a</sup>	41.100 <sup>a</sup>	44.433 <sup>a</sup>
Índice de Viscosidad	-----	302.86 <sup>a</sup>	184.62 <sup>a</sup>	250.64 <sup>a</sup>

\*medias con la misma letra no son significativamente diferentes

<sup>1</sup> determinada a 27,000 x g durante 30 minutos

<sup>2</sup> determinada a 25,000 x g durante 15 minutos

Tabla 14. Prueba múltiple de Duncan para la temperatura de almacenamiento*.			
Variable	4°C	-20°C	-63°C
pH	5.61 <sup>a</sup>	5.62 <sup>a</sup>	5.59 <sup>a</sup>
SOL <sub>PH</sub> <sup>1</sup>	32.438 <sup>a</sup>	31.718 <sup>a</sup>	33.609 <sup>a</sup>
IAE	41.654 <sup>a</sup>	39.861 <sup>a</sup>	40.046 <sup>a</sup>
CE	1905.30 <sup>a</sup>	1937.57 <sup>a</sup>	1960.09 <sup>a</sup>
SH	70.70 <sup>a</sup>	72.98 <sup>a</sup>	73.21 <sup>a</sup>
SOL <sup>2</sup>	42.38 <sup>a</sup>	42.17 <sup>a</sup>	37.57 <sup>a</sup>
índice de Viscosidad	256.97 <sup>a</sup>	235.11 <sup>a</sup>	-----

\* medias con la misma letra no tienen diferencia significativa

<sup>1</sup> determinada a 27,000 x g durante 30 minutos

<sup>2</sup> determinada a 25,000 x g durante 15 minutos

## 5.2 SOLUBILIDAD DEL pH AJUSTADO

En la figura 7 se presentan la solubilidad de los extractos proteicos (mezcla de proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares) extraídos de las muestras de carne de cabra y res almacenados a las diferentes temperaturas estudiadas y a los que se les ajusto el pH. De acuerdo al análisis estadístico (Tabla 9), se produjo un efecto altamente significativo ( $P < 0.0001$ ) del modelo sobre la solubilidad de los extractos<sup>1</sup>. La especie tuvo un efecto significativo ( $P > 0.0001$ ) en el modelo (Tabla 10) que se asocia al pH de la carne. La solubilidad proteica depende del estado post-mortem del músculo, las condiciones de extracción y las propiedades individuales del tejido mismo (van Der Oord y Wesdorp, 1978). De esta manera, el grado desnaturalización a un pH alto es menor (Lan y col., 1995b), por lo que la solubilidad de los extractos de carne de cabra, aun bajo los diferentes pH ajustados, fueron significativamente mayores (Tabla 11) a los obtenidos de los extractos de carne de res.

<sup>1</sup> solubilidad determinada centrifugando a 27,000 x g durante 30 minutos (Li-Chan y col., 1984).

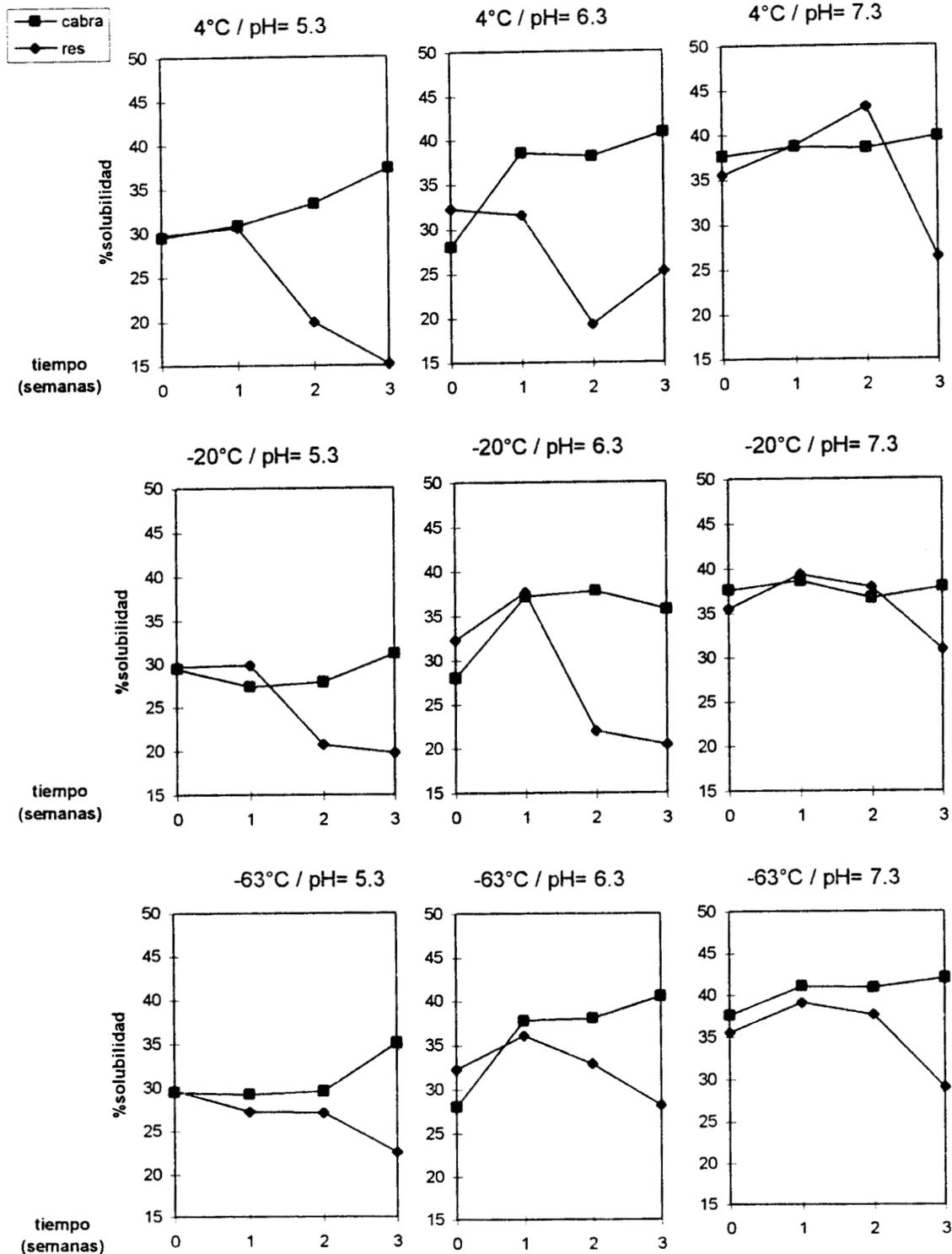


Figura 7. Porcentaje de solubilidad de los extractos proteicos con pH ajustado.

El tiempo de almacenamiento no tuvo efecto significativo ( $P < 0.0517$ ) sobre la solubilidad de los extractos con el pH ajustado. La prueba de Duncan para los diferentes tiempos (Tabla 13) mostró que no hay diferencia significativa en la solubilidad entre tiempo inicial y a las dos semanas. Debido a que no hay diferencia significativa y a que el criterio de variación más importante fue la especie, no se consideró un análisis más detallados para esta variable.

El efecto altamente significativo del pH ajustado ( $P < 0.0001$ ) sobre la solubilidad de los extractos y los resultados del análisis múltiple de medias (Tabla 12) que mostraron diferencias significativas entre los tres niveles estudiados puede explicarse mediante la variación del pH del extracto, ya que la repulsión electrostática entre las proteínas se incrementa y la interacción proteína-solvente se ve favorecida (Lan y col., 1993). Las variaciones de pH modifican la ionización y la carga neta de las moléculas proteicas, alterando fuerzas atractivas y repulsivas entre ellas y por lo tanto la aptitud de estas a asociarse con el agua (Borderías y Montero, 1988). Los perfiles de solubilidad en función del pH tienen su mínimo en el punto isoeléctrico (Kretzschmar, 1992). De acuerdo a esto, se observó que los menores porcentajes de solubilidad ocurrieron a un  $\text{pH} = 5.3$  y los mayores a  $7.3$ , ya que las proteínas miofibrilares representan la mayor proporción de la mezcla, por lo que al estar cerca de su punto isoeléctrico ( $4.5$  a  $5.5$ ) estas tienen carga negativa, favoreciendo las fuerzas de repulsión electrostática (Stanley y col., 1994, Offer y col., 1984). En el punto isoeléctrico las interacciones con el agua son mínimas al disminuir las cargas, y las interacciones proteína-proteína son máximas (Borderías y Montero, 1988), por lo que la solubilidad se ve disminuida. En extractos miofibrilares, Li-Chan y col. (1984) reportan la pérdida de la dispersabilidad

proteica (centrifugando a 1,100 x g por 10 min) a pH 5.5 en proteínas de res y pescado. Laborde y Monin (1985) y Monin y Laborde (1985) reportan una interacción positiva de proteínas sarcoplásmicas sobre la capacidad de retención de agua de extractos miofibrilares de carne de cerdo al variar el pH, lo que permite concluir que aún *in vitro* existen interacciones entre estas proteínas que modifican conformación y carga, lo que a su vez modifica sus propiedades. De la misma manera, Kijowski y Niewiarowicz (1978a) reportaron que la estabilidad de emulsión para mezclas de proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas tuvo valores intermedios a las de cada fracción proteica por separado.

Varios autores reportan que la solubilidad disminuye con el tiempo de almacenamiento de acuerdo a las siguientes condiciones: -20°C por ocho meses (Jiménez-Colmenero y Borderías, 1983); -30°, -20° y 4°C por 14 días (Lan y col. 1993); -10°C por 11 días (Li-Chan y col., 1985); -28°C por seis meses (Srikar y Reddy, 1991); -25°C por 50 semanas (Wagner y Añón, 1986b). Por otra parte se reporta el incremento de la solubilidad al transcurrir el almacenamiento a 4°C por 50 horas (Xiong y Brekke, 1989) o a -20°, 0°, 5° y 10°C por 80 horas (Lin y Park, 1996). De lo anterior se concluye que las condiciones y tiempos de almacenamiento son muy variados, pero de manera general se puede decir que mientras más bajas sean las temperaturas y más cortos los tiempos, la desnaturalización proteica y por lo tanto la solubilidad de las proteínas se verá menos afectada. En el presente estudio, de acuerdo al análisis múltiple de medias de Duncan (Tabla 14), solamente existe diferencia significativa al final del período de estudio, a la tercera semana. Sin embargo, al comparar estos resultados con los de la bibliografía, se debe mencionar que no hay método estándar para la determinación de la solubilidad proteica por centrifugación

(Xiong y Brekke, 1889, Xiong, 1994), es decir, no se estandarizan los de volúmenes, tiempos y fuerza de centrifugación, por lo que una comparación es relativa.

La temperatura de almacenamiento no tiene efecto significativo (Tabla 10) ( $P < 0.3206$ ), sobre la solubilidad proteica de los extractos con pH ajustado. La congelación causa una degradación en las proteínas lo cual afecta a la solubilidad (Lan y col., 1993), se puede concluir que en las temperaturas estudiadas ( $-63^{\circ}$ ,  $-20^{\circ}$  y  $4^{\circ}\text{C}$ ) los tiempos de almacenamiento no fueron suficientemente largos como en otros experimentos reportados en la literatura, por lo que no pueden confrontarse con los obtenidos en esta Tesis. La desnaturalización se asocia a la pérdida de solubilidad y otras propiedades funcionales (Li-Chan y col., 1984). La formación de agregados se refleja en la disminución la solubilidad (Jiménez-Colmenero y Borderías, 1983; Srikar y Reddy, 1991), ya que esta decrece por las interacciones proteína-proteína, o proteína-lípido, lo que provoca una disminución de los residuos hidrófobos libres que son importantes en las propiedades de emulsificación y gelificación de las proteínas (Srikar y Reddy, 1991). Li-Chan y col. (1984) reportaron que la hidrofobicidad superficial fue importante para la predicción de las propiedades emulsificantes (IAE y capacidad de emulsión) de extractos miofibrilares de res y pescado con una alta solubilidad ( $> 50\%$ ), mientras los parámetros de solubilidad tuvieron mayor influencia para muestras con una solubilidad baja ( $< 50\%$ ). Según Torgensen y Toledo (1977), la solubilidad afecta negativamente a las propiedades funcionales de un sistema cárnico, ya que de acuerdo a sus experimentos la proteína más soluble favoreció una mayor liberación de grasa durante la cocción.

## 5.3 ÍNDICE DE ACTIVIDAD DE EMULSIÓN

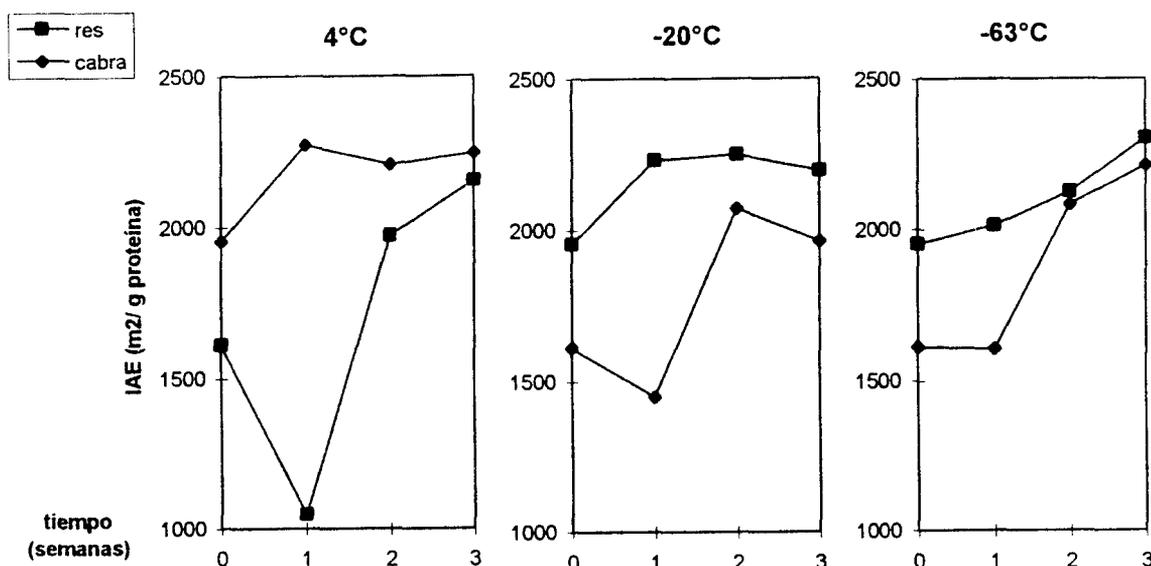


Figura 8. Índice de Actividad de Emulsión de los extractos proteicos.

Se encontró un efecto altamente significativo de los tratamientos ( $P < 0.0001$ ) sobre el IAE (Tabla 9), siendo la especie y el tiempo de almacenamiento las fuentes de variación que en mayor medida contribuyeron a este (Tabla 10). El análisis de medias de Duncan (Tabla 11) indicó que los extractos de carne de cabra tuvieron un valor de IAE mayor al de los extractos de res. Esto concuerda con lo reportado por Chatteraj y col. (1979) comparando los extractos proteicos de oveja, cerdo y pollo y por Turgut (1984) para res, búfalo de agua y oveja. En la Figura 8 se presentan los cambios en el índice de actividad de emulsión, ( $m^2/g$  de proteína), donde estos tienen una tendencia constante en extractos de res, y relativamente constante en cabra. El tiempo de almacenamiento post-mortem tiene una influencia importante ya que se produce la degradación de las proteínas mayores (actina, miosina y actomiosina) y la aparición de

otros compuestos de menor peso molecular. Este hecho ha sido reportado por varios autores en estudios hechos por electroforesis en gel de poliacrilamida-SDS (Al-Aswad y Al-Nagrawi, 1989; Chou y col., 1994 y 1996; Lan y col., 1995c; Lin y Park, 1996; Tanabe y col., 1992; Wagner y Añon, 1985 y 1986b; Xiong y Brekke, 1989; Xiong y Anglemier, 1989; Yu y Lee, 1986; Koohmarie y col., 1984). El área total accesible de una proteína es aproximadamente proporcional a dos tercios de su peso molecular, como podría esperarse de objetos aproximadamente esféricos. Sin embargo, el área superficial accesible es casi dos veces mayor de lo esperado para una esfera del mismo tamaño debido a la rugosidad de la superficie (Creighton, 1984), por lo que se tiene un área emulsionante mayor, con lo que las interacciones hidrofóbicas proteína-lípido se vean favorecidas.

El IAE, de acuerdo a Das y Kinsella (1990), es el área superficial por unidad de masa emulsificada, pero no es una medida absoluta, ya que el área creada en un sistema de composición fija y condiciones estándar presenta variaciones de un equipo a otro, incluyendo variaciones en energía aplicada en la formación de la emulsión. Pearce y Kinsella (1978) comentan que sus resultados obtenidos por turbidimetría solo son comparables con otros derivados también de datos turbidimétricos. Una emulsión con una gran área superficial es menos estable que aquella con un área menor, por lo que el IAE está relacionada a que tanta área es creada durante la emulsificación, dando poca información de la reducción del área superficial con el tiempo, y por lo tanto siendo el IAE diferente a la estabilidad de la emulsión (Das y Kinsella, 1990).

## 5.4 CAPACIDAD DE EMULSIÓN

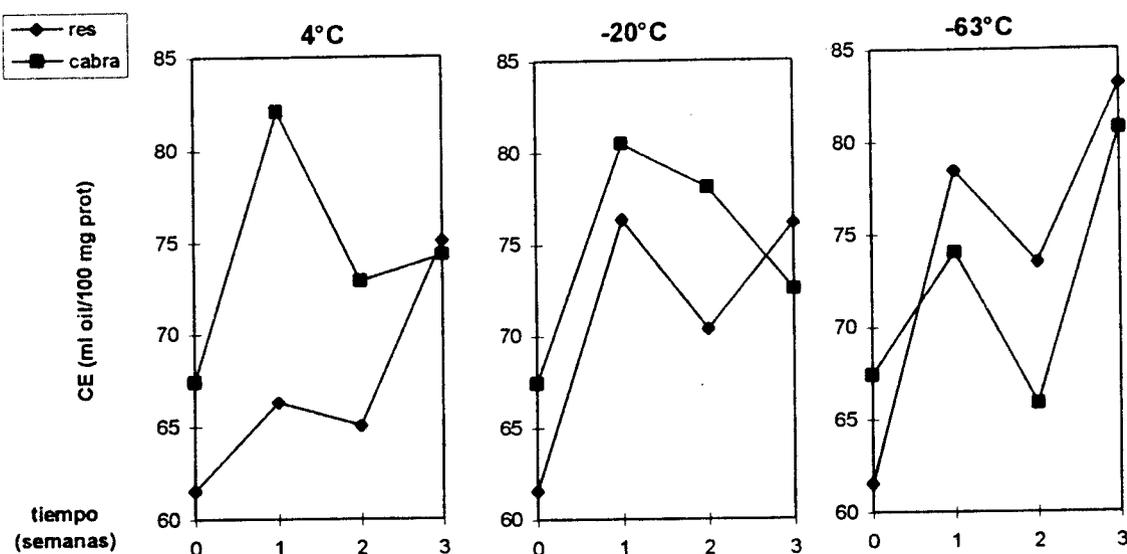


Figura 9 Capacidad de emulsión de los extractos proteicos.

La Figura 9 presenta la capacidad de emulsión (en ml de aceite/ 100 mg de proteína) de los extractos proteicos de res y cabra, dando tendencias muy erráticas. El análisis estadístico indicó que el efecto de los tratamientos es altamente significativo ( $P < 0.0016$ ) sobre la capacidad de emulsión (Tabla 9), la fuente de variación fue únicamente el tiempo de almacenamiento ( $P < 0.0003$ ). El análisis de medias de los tiempos de almacenamiento (Tabla 13) indicó diferencias significativas, donde a mayores tiempos de almacenamiento se tuvieron valores mayores de capacidad de emulsión, lo que está en desacuerdo con lo reportado por Jiménez-Colmenero y Borderías (1983) y Kijowski y Niewiarowic, (1978a), que indican que en las especies analizadas, pescado, pollo y cerdo, almacenadas durante 8 meses a  $-20^{\circ}\text{C}$ , y pollo, almacenado durante 6 meses a  $-18^{\circ}\text{C}$ , la capacidad de emulsión de extractos proteicos decreció

con el tiempo de almacenamiento. Este hecho lo atribuyen a diferencias en la película interfacial formada durante el proceso de desnaturalización de las proteínas.

Debido a que la cantidad de proteína en las muestras se estandarizó, las variaciones se debieron únicamente a la desnaturalización de las proteínas *in vivo* y a la aparición de compuestos de menor peso molecular. Por lo que aumentó el área superficial con capacidad emulsificante por miligramo de proteína inicial, reflejándose este hecho en un mayor IAE. La diferencia en el IAE con respecto al tiempo se debió probablemente a la desnaturalización de las proteínas ocurrida durante el almacenamiento.

Sin embargo, ni el IAE ni la capacidad de emulsión consideran la estabilidad final de la emulsión (Arteaga, 1994). Aunque la capacidad de emulsión no da idea del tamaño de gota formada (Swift y col., 1961), debido a que la relación de proteína/agua no permanece constante como en el IAE (Voutsinas y col., 1983). La capacidad de emulsión se define como el volumen de aceite que puede ser emulsionado por una cantidad dada de proteína (Das y Kinsella, 1990). Mangino (1994) recomienda la estandarización de las condiciones de los sistemas a estudiar en la formación y estabilidad de la emulsión. Bajo las condiciones experimentales de este trabajo, no fué posible determinar la estabilidad de la emulsión de acuerdo a la metodología de Cofrades (1994) ya que al de tomar alícuotas de las emulsiones formadas después de tiempos determinados no se obtuvieron resultados reproducibles, debido probablemente a que el tipo de equipo utilizado no tiene la capacidad de crear un tamaño de partícula estándar que de emulsiones más estables (Arteaga, 1996). A este respecto, se pueden comparar los resultados obtenidos de IAE ( $m^2$  de superficie

proteica) de 1,000 a 2,500 contra los de varios autores: Arteaga (1994) 0 a 1.2; Pearce y Kinsella (1978) de 100 a 300; Li-Chan y col. (1985) de 20 a 50 y 50 a 450; Voutsinas y col. (1983) de 30 a 80 y hasta 150. Al parecer, estos valores reflejan un tamaño de partícula diferente al que se puede obtener con otros equipos y condiciones, lo que a su vez se refleja en la turbidez de la emulsión.

### 5.5 CONTENIDO DE GRUPOS SULFHIDRILO

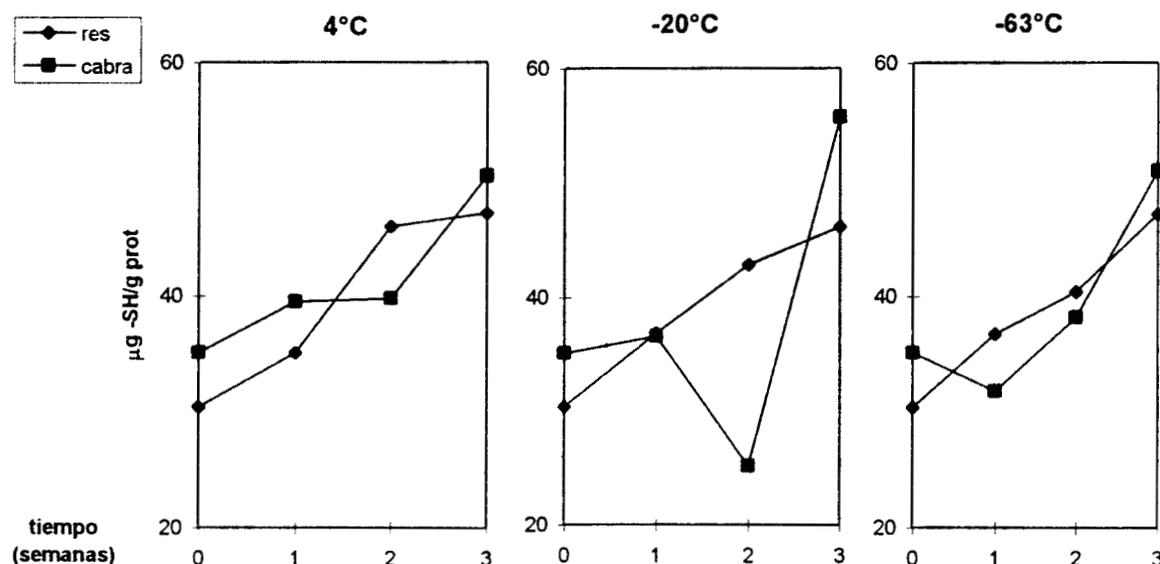


Figura 10. Contenido de grupos sulfhidrilo de los extractos proteicos.

La Figura 10 muestra el cambio en los grupos sulfhidrilo en los extractos proteicos obtenidos. En todos los casos estos aumentan con el tiempo. El análisis estadístico (Tabla 9), muestra que los tratamientos tuvieron efecto significativo ( $P < 0.0043$ ) sobre el contenido de grupos sulfhidrilo. Esta variación estuvo explicada solamente por el tiempo de

almacenamiento ( $P < 0.0003$ ), ya que ni la especie ( $P < 0.3373$ ) ni la temperatura de almacenamiento ( $P < 0.5284$ ) tienen efecto significativo. La aparición de péptidos de menor peso molecular da por resultado más grupos sulfhidrilo disponibles al aumentar el tiempo de almacenamiento.

Los grupos sulfhidrilo, debido a su naturaleza estructural, son considerados como grupos funcionales importantes (Beveridge y col., 1974). La relación de estos con la gelificación de las proteínas aumenta cuando hay un proceso de calentamiento, provocándose los rearrreglos estructurales. En este proceso de gelificación inducida por calor, el papel de los sulfhidrilos en la agregación durante la primera etapa no ha sido totalmente elucidado (Morrissey y col., 1987), sin embargo se ha encontrado una reducción en el contenido de los mismos asociada a un aumento de los puentes disulfuro (Chawla y col., 1996; Lui y col., 1982) lo que hace pensar en su participación en la conformación y estabilidad de la red proteica (Howell, 1991). Ancín y col. (1989a y b) reportaron que existe una correlación estadísticamente significativa entre el IAE y el contenido de grupos sulfhidrilo en pastas cárnicas. La desnaturalización proteica en carnes, sea por maduración o en el procesamiento, influye en el contenido de los grupos sulfhidrilos vinculados a las proteínas, por lo que la conformación molecular determina la actividad superficial de una proteína, la cual se puede medir a través del IAE. Este a la vez es un reflejo de las características estructurales de las proteínas cárnicas (Ancín y col., 1989b).

## 5.6 SOLUBILIDAD

En los análisis estadísticos de la solubilidad (Tabla 9 y 10) determinada por centrifugación a 25,000 x g durante 15 minutos, demuestra que no hubo efecto significativo ( $P < 0.0946$ ) en los extractos proteicos de res y cabra. La variación en las condiciones experimentales (reducción de la fuerza de centrifugación de 27,000 a 25,000 x g y del tiempo de 30 a 15 minutos) se llevó a cabo con el fin de determinar la cantidad de proteína adsorbida por la emulsión, siguiendo el método recomendado por Pearce y Kinsella (1978). Se observó una variación en la determinación de la concentración de proteína adsorbida en la fase acuosa, por lo que no se tiene la certeza que las fracciones proteicas participan en la formación de la emulsión. Gaska y Regestein (1982) observaron que el volumen del precipitado de la fase proteica insoluble obtenida por centrifugación de la emulsión decreció con el incremento del tiempo de emulsificación, sugiriendo que la proteína insoluble también participa en la formación de la emulsión. Este hecho cuestiona la importancia de la solubilidad de las proteínas musculares en la formación de la emulsión. Para determinar que fracciones proteicas fueron adsorbidas por la fase grasa de la emulsión se recomienda seguir la metodología de Yamauchi y col. (1980).

La solubilidad de los extractos de carne de cabra tienden a aumentar al almacenar a 4°C y -20°C, y a disminuir a -63°C (Figura 11), mientras que la solubilidad es relativamente constante. Esta variación entre especies no fué diferente estadísticamente.

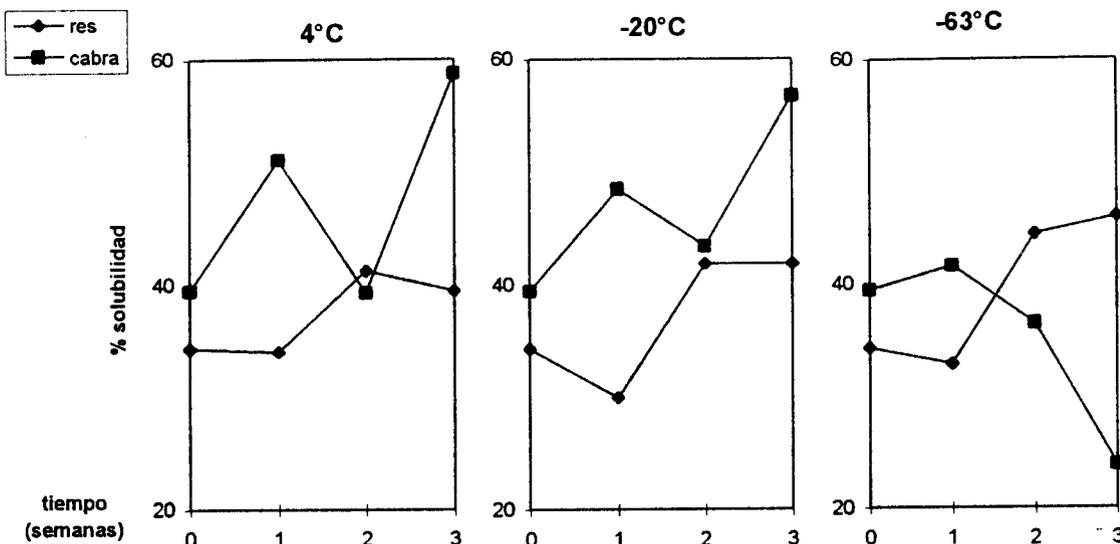


Figura 11. Porcentaje de solubilidad de los extractos proteicos.

### 5.7 ÍNDICE DE VISCOSIDAD

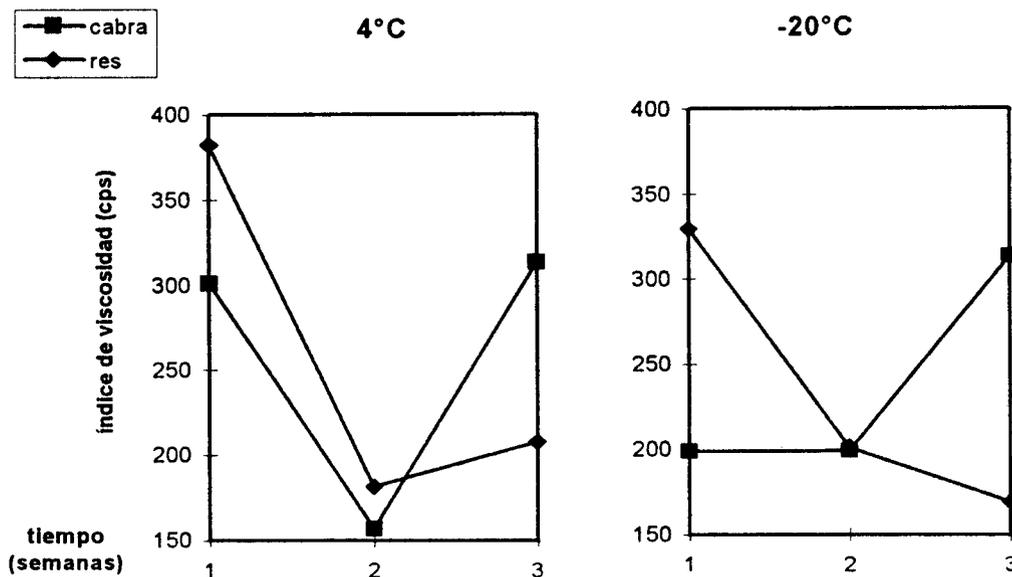


Figura 12. Índice de Viscosidad de los geles de proteína.

La Figura 12 muestra los cambios en el índice de viscosidad de los geles a 4° y -20°C. Por problemas con los equipos, no se determinó a tiempo cero ni a -63°C. El análisis estadístico (Tabla 9), no mostró efecto significativo de los tratamientos ( $P < 0.2938$ ) sobre el índice de viscosidad de los geles de extractos proteicos entre cabra y res. Esto significa que bajo las condiciones de trabajo de la presente Tesis, no hubo diferencia de los tratamientos sobre el índice de viscosidad entre los geles de proteína muscular de cabra y res. Sin embargo, Lan y col. (1995c), encontraron diferencias en el índice de viscosidad de suspensiones de miofibrillas de cerdo, res, pescado, pollo y pavo. No obstante, estos mismos autores reportaron que al variar la concentración de proteína en los geles estas diferencias no son consistentes, por lo que el índice de viscosidad depende de la concentración de proteína, sugiriendo además existencia de varios isomorfos de miosina en las cadenas pesada y ligera. Estos y la estructura hexamérica de la miosina hacen posible que se forme en teoría un gran número de isomiosinas en las fibras musculares (Xiong, 1994).

No obstante que los geles de proteínas musculares tienen la habilidad de exhibir características de viscosidad, rigidez y elasticidad en función de la concentración de proteína, del pH del extracto, fuerza iónica, entre otros (Smith y col., 1988), la medición del índice de viscosidad mediante las ecuaciones de Hickson y col. (1982) es poco comparable con las mediciones hechas en otros equipos (Montejano, 1996). Sin embargo, para la comparación entre dos especies el índice de viscosidad constituye un método simple y rápido (Xiong, 1996). Por otra parte, la aplicación de las ecuaciones supone un comportamiento newtoniano (Hickson y col., 1982), donde la viscosidad dinámica es independiente de la velocidad de deformación y no se considera válida ya que la viscosidad no es una

característica *ad hoc* para la evaluación de las propiedades de geles de proteína muscular (Smith, 1996). Se recomiendan por tanto otro tipo de determinaciones, como la fuerza o el trabajo de penetración (Blanchard, 1996). Sin embargo, Wagner y Añón (1986b) reportan que existe un cambio gradual en el comportamiento del gel con respecto al tiempo de almacenamiento, que cambia sus características de un fluido tixotrópico y pseudoplástico a uno newtoniano y no pseudoplástico, dependiendo de las variaciones de tiempo y temperatura de almacenamiento. Un fluido tixotrópico es en el cual la deformación es dependiente del tiempo y la disminución de la viscosidad aparente está relacionada con la velocidad de deformación y con la duración de esta; y un fluido pseudoplástico tiene un comportamiento no estacionario, en donde la viscosidad aparente desciende a medida que aumenta la velocidad de deformación (Muller, 1977). Al parecer, y de acuerdo a estos autores, los cambios en la relación de la concentración de las diferentes proteínas miofibrilares, se deben a la formación de puentes disulfuro y puentes de hidrógeno por la agregación progresiva, y a la formación de uniones iónicas e interacciones hidrofóbicas. Estas observaciones están respaldadas por las observaciones de Howell (1991), Niwa y col. (1982, 1983) y Lui y col. (1982), ya que la transición de sol a gel se debe al plegado estructural de la proteína y a la movilidad del agua en los geles, que es mayor si se compara con un sol (Yasui y col., 1979). Busk (1984) indicó que no hay evidencias que apoyen la necesidad de la aplicación de fuerzas sobre los sistemas durante la formación del gel, debido a que en un extracto proteico la gelificación no es solo la suma de varias causas, sino también de las interacciones entre estas, que son afectadas por la concentración de proteína (Lan y col., 1995b).

## 5. CONCLUSIONES

Como era de esperarse, a un pH alto (alrededor de 7.3) la solubilidad de la mezclas de extractos proteicos miofibrilares y sarcolplásmicas resulto más alto, ya que las proteínas miofibrilares, que se encontraban en mayor proporción, están alejadas de su  $pI$ , por lo que la solubilidad aumentó en este intervalo.

Los valores de IAE de los extractos proteicos de carne de cabra tuvieron valores mas altos que los de res. El IAE esta relacionado con la solubilidad, es decir, a una mayor solubilidad, las proteínas están estructuralmente más expuestas en el medio acuoso, presentando una área superficial mayor, capaz de estabilizar la interfase lípida, y por lo tanto formar una emulsión estable.

Contrariamente, la CE no presento diferencia entre los extractos de carne de cabra y res. Estos resultados pueden explicarse en la medida de la relación proteína/aceite que se maneja entre ambas variables. En el IAE esta relación es constante durante la prueba, mientras que en la CE no es lo es, ya que al adicionar aceite llega un momento en que la proteína no es suficiente para emulsionar tal cantidad de aceite.

El contenido de grupos sulfhidrilos esta en función del grado de desnaturalización ya que el número de grupos expuestos aumenta conforme esta avanza. El almacenamiento provocó un incremento en el contenido de grupos sulfhidrilo, no observando diferencia entre las muestras de carne de

cabra y res, por lo que se piensa que el efecto del tiempo de almacenamiento fue el mismo para ambas especies.

No se encontró efecto significativo sobre el índice de viscosidad de los geles con respecto a especie o tiempo de almacenamiento. Se considera que los resultados obtenidos son suficientes para cubrir el objetivo de comparar el desempeño de las proteínas musculares entre cabra y res.

Las temperaturas de almacenamiento empleadas en esta Tesis no tuvieron efecto significativo sobre ninguna de las variables estudiadas.

De esta manera, se puede concluir que las proteínas musculares de carne de cabra presentan mejor o igual funcionalidad que las de res, especie de mas industrializada.

Cabe mencionar que los diferentes parámetros de prueba, como temperaturas, soluciones amortiguadoras de extracción, condiciones de las muestras (manejo ante-mortem, sacrificio y post-mortem), además de la inherente variabilidad biológica existente entre individuos aún de la misma especie, mencionando también las diferencias entre los equipos utilizados para las diferentes pruebas funcionales, sin contar otras variables de interés (concentración de proteína, pH, fuerza iónica, etcétera) hacen difícil la comparación de nuestros resultados con los de otros laboratorios. Estos resultados son válidos dentro de las condiciones muy particulares y específicas desarrollados en nuestro laboratorio teniendo un significado real al comparar las propiedades funcionales entre estas especies. De manera que:

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Agraz-García, A.A., 1981. Cría y explotación de la cabra en América Latina. Edit. Hemisferio Sur, S.A., Buenos Aires, Argentina.
- Aguilera, J.M. y J.E. Kinsella, 1991. Compression strenght of dairy gels and microstructural interpretation. *J. Food Sci.* 56(5): 1224-1228.
- Al-Asward, M.B. y M.H.M. Al-Nagmawi, 1989. Effect of aging quality of meat proteins. Proc. 35th International Congresss in Meat Science and Technology, Copenhagen, Denmark.
- Alanis-García, E., 1993. Efecto de la actividad de proteasas de *pseudomona fragi* sobre las propiedades funcionales de proteínas miofibrilares y sobre algunas características sensoriales en músculo de res. Tesis Ing. Alim., UAM-Iztapalapa, México.
- Ancín, C., J.M. Sánchez-Monge, R. Villanueva y J. Bello, 1989a. Estudio de la actividad superficial de las proteínas cárnicas en pastas finas comerciales, como índice representativo de sus propiedades texturales. *Anal.Bromatol.* XLI (1): 9-18.
- Ancín, C., J.M. Sánchez-Monge, R. Villanueva y J. Bello, 1989b. Influencia de la tecnología de curación sobre las características del sistema emulsión en productos cárnicos curados. *Anal.Bromatol.* XLI (1): 19-29.
- Arbiza-Aguirre, S.I., 1986. Producción de caprinos. AGT Editor, S.A., México.
- Arteaga, G.E., 1994. Assesment of protein surface hydrophobicity by spectroscopic methods and its relation to emulsifying properties of proteins. Ph.D. Thesis, The University of British Columbia, Canada.
- Arteaga, G.E., 1996. Comunicación Personal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora, México.
- Award, A., W.D. Powrie y O. Fennema, 1968. Chemical deterioration of frozen bovine muscle al -4 °C. *J. Food Sci.* 33: 227-236.

- Babiker, S.A., I.A. El Khider y S.A. Shafle, 1990. Chemical composition and quality attributes of goat meat and lamb. *Meat Sci.* 28: 273-277.
- Badui D., S., 1981. *Química de los Alimentos*. Edit. Alhambra Mexicana, México.
- Bagley, E.B. y D.D. Christianson, 1987. Measurement and interpretation of rheological properties of foods. *Food Technol.* 41(3): 96-99.
- Bailey, A.J., 1982. Muscle proteins and muscle structure. Cap. 13, En *Food Proteins*, P.F. Fox y J.J. Condon (Ed.). Elsevier Applied Sci. Publ., Londres, Gran Breaña.
- Baines, D.A. y J.A. Moltkiewilz, 1983. The chemistry of meat flavor. Cap. 7, En *Recent Advances in Chemistry of Meat*. The Royal Soc. of Chem., Londres, Gran Breaña.
- Basu, S. K.P. Das, D.K. Chatteraj, y K. Gopakumar, 1987. Measurement of denaturation of fish, goat and beef proteins -a viscometric study with protein stabilized emulsion. *J. Food Sci. Technol. (India)* 24(4): 172-177.
- Bendall, J.R., 1964. Meat Proteins. Cap.11, En *Symposium In Foods*. H.W. Schultz and A.F. Anglemier (Ed.), Avi Publ. Co., Westport, EE.UU.
- Beveridge, T., S.J. Toma y S. Nakai, 1974. Determinations of -SH and -SS groups in some food proteins using Ellman's reagent. *J. Food Sci.* 39 (1): 49-51.
- Bevilacqua, A.E. y N.E. Zaritzky, 1982. Ice recrystallization in frozen beef. *J. Food Sci.* 47: 1410-1414.
- Blackburn, H.D., 1995. Comparison of performance of boer and spanish goats in two U.S. locations. *J. Animal Sci.* 73: 302-309.
- Blanchard, P.J. y D. Mantle, 1996. Comparison of proteolytic enzyme levels in chicken, pig, lamb and rabbit muscle at point of slaughter: role in meat tenderisation *post-mortem*. *J. Sci. Food Agric.* 71: 83-91.
- Blanchard, S., 1996. Comunicación personal. Departament of Animal Science. University of Kentucky, EE.UU.

- Borderías, A.J. y P. Montero, 1988. Fundamentos de la funcionalidad de las proteínas en alimentos. *Rev. Agroquim. Tecnol. Alim.* 28(2): 159-169.
- Bourne, M.C., 1978. Texture profile analysis. *Food Technol.* 32(6): 62-67.
- Busk, G.C., 1984. Polymer-water interactions in gelation. *Food Technol.* 38(5): 59-60, 62, 64.
- Calzada, J.F. y M. Peleg, 1978. Mechanical interpretation of compressive stress-strain relationship of solid foods. *J. Food Sci.* 43: 1087-1092.
- Cameron, D.R., M.E. Weber, E.S. Idziak, R.J. Neufeld y D.G. Cooper, 1991. Determination of interfacial area in emulsions using turbidimetric and droplet size data: correction of the formula for emulsifying activity index. *J. Agric. Food Chem.* 39: 655-659.
- Carballo, J., S. Cofrades, M. Careche y F. Jiménez-Colmenero, 1992. Functional and physical-chemical parameters of actomyosin from pork muscle of different characteristics. *Proc. 38th. International Congress in Meat Science and Technology, Clermont-Ferrand, Francia.*
- Carroll, R.J., J.R. Cavanaugh y F.P Rorer, 1981. Effects of frozen storage on the ultrastructure of bovine muscle. *J. Food Sci.* 46: 1091-1094, 1102.
- \* Cepeda S., A., 1993. Introducción a la reología de la carne. *Eurocarne* 3 (22): 45-51.
- Cofrades, S., M. Careche, J. Carballo y F. Jiménez-Colmenero, 1993. Protein concentration, pH and ionic strength affect apparent viscosity of actomyosin. *J. Food Sci.* 58(6): 1269-1272.
- Cofrades, S., 1994. Funcionalidad y características físico-químicas de actomiosina procedente de distintas especies. Influencia de la congelación y conservación en estado congelado. Tesis Doctoral, Univ. Complutense, Madrid, España.
- Confederación Nacional Ganadera, 1994. Información económica pecuaria. Dirección de Estudios Económicos y Comercio Internacional, Abril 1994. México.

- Córdoba, J.A., N. Jaques, A. Alarcón, O. Cano y F.A. Nuñez, 1984. Calidad química, microbiológica y organoléptica de embutidos elaborados con carnes no convencionales. Coloquio de Química y Tecnología de la Carne, UAM-Iztapalapa, México.
- Creighton, T.E., 1984. Proteins. W.H. Freeman and Co., Nueva York, EE.UU..
- Culioli, J., C. Boyer, X. Vignon y A. Ouali, 1993. Propriétés thermogélificantes de la myosine: influence du degré de purification et du type musculaire. *Sci. Aliments* 13(2): 249-260.
- Chattoraj, D.K., A.N. Bose, M. Sen y P. Chatterjee, 1979. Physico-chemical studies of model meat emulsion in relation to the preparation of stable sheep and goat meat sausages. *J. Food Sci.* 44(6):1659-1699, 1702.
- Chawla, S.P., V. Genogopal y P.M. Nair, 1996. Gelation of proteins from washed muscle of threadin bream (*Numpterus japonicus*) under mild acid condition. *J. Food Sci.* 61(2): 362-366, 371.
- Chou, R-G. R., K-J. Lin y T. Seng, 1994, Post-mortem changes in myofibrillar proteins of breast and leg muscles from broilers, spent chicken and taiwanese country chickens. *J. Sci. Food Agric.* 69: 297-302.
- Chou, R-G. R., T.F. Tseng, K-J. Lin y J.H. Yang, 1996. Post-mortem changes in breast muscle of mule duke. *J. Sci. Food Agric.* 71: *J. Sci. Food Agric.* 96: 94-102.
- Cheftel, J.C., J.L. Cuq y Lorient, 1985. *Protéines Alimentaries*. Ed. Lavoiser, Paris, Francia.
- Cheftel, J.C., J.L. Cuq y D. Lorient, 1992. Aminoácidos, peptidos y proteínas. Cap. 5, En *Química de los Alimentos*. O.R. Fenemma (Ed.). Edit. Acribia, Zaragoza, España.
- Chen, P.H. y H.W. Ockerman, 1995. Emulsion products. *Meat Focus Intl.* 4(6): 235-237.
- Cheng, Ch. y F.C. Parrish, 1978. Molecular changes in the salt-soluble myofibrillar proteins of bovine muscle. *J. Food Sci.* 43: 461-463, 487.

- Chou, R.R., K.L. Lin y T. Tseng, 1996. Post-mortem changes in breast muscle of mule duck. *J. Sci. Food Agric.* 71: 99-102.
- Daley, C.L. y K.V. Gilbert, 1968. Studies in meat tenderness 4. Changes in extractability of myofibrillar protein during meat aging. *J. Food Sci.* 33: 2-7.
- Damodaran, S., 1994. Structure-function relationship of food proteins. Cap. 1, En *Protein functionality in food systems*. N.S. Hettiarachchy y G.R. Ziegeler (Ed.), Marcel Dekker Inc., Nueva York, EE.UU.
- Das, K.P. y J.E. Kinsella, 1990. Stability of foods emulsions: physicochemical role of protein and nonprotein emulsifiers. *Adv. Food Nut. Res.* 34, J.E. Kinsella (Ed.), Academic Press, Londres, Gran Bretaña.
- Devendra, C. y M. Burns, 1983. Cap. 4, En *Goat production in the tropics*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Londres, Gran Bretaña.
- Dudziak, J.A. y E.A. Foeding, 1988. Isolation of actomyosin and myosin from post-rigor turkey breast and thigh. *J. Food Sci* 53: 1287-1289, 1339.
- Dzudie, T. y C. Tandem, 1994. A comparative study of goat, beef and rabbit sausages. *J. Food Sci. Technol. (India)* 31(4): 333-334.
- Ensminger, M.E. y R.O. Park, 1986. Cap. 16, En *Sheep and Goat Science*. The Interstate Printers and Publishers, Inc., EE.UU.
- Fizman, S.M., E. Costell y L. Duran, 1983. Medida del comportamiento reológico de los alimentos sólidos. II. Métodos fundamentales. *Rev. Agroquim. Tecnol. Alim.* 23(3): 303-309.
- Flores-Foxworth, G.A. y D.C. Kraemer, 1991. New technologies for developing and improving meat goats. National Symposium on Goat Meat, Production and Marketing. Oklahoma, EE.UU.
- Foegeding, A.E., C.J. Brekke y Y.L. Xiong, 1991. Gelation of myofibrillar proteins, Cap. 18, En *Interactions in Food Proteins*. N. Parris y R. Barford (Ed.). ACS Symposium Series 454, Nueva York, EE.UU.

- Foegeding, E.A., 1988. Thermally induced changes in muscle proteins. *Food Technol.* 42(6): 58, 60-62.
- Foegeding, E.A., 1990. Developmet of a test to predict gelation properties of raw turkey muscle proteins. *J. Food Sci.* 53(4): 932-936, 941.
- Forrest, J.C., E.D. Aberle, H.B. Hendrick, M.D. Judge y R.A. Merkel, 1974. *Fundamentos de la ciencia de la carne*. Edit. Acribia, Zaragoza, España.
- Frank, F., 1988. Solution properties of proteins. Cap. 3, En *Characterization of Proteins*, F. Frank (Ed.), Human Press, Nueva York, EE.UU.
- Gaska, T.M. y J.M. Regestein, 1982. Timed emulsification studies with chicken breast muscle: soluble and insoluble myofibrillar proteins. *J. Food Sci.* 47: 1438-1443.
- Gillet, T.A., D.E. Mieburg, C.L. Brown y S. Simon, 1977. Parameter affecting meat protein extraction and interpretation of model system data for meat emulsion formulation. *J. Food Sci.* 42(6): 1606-1610.
- Glimp, H.A., 1995. Meat goat production and marketing. *J. Animal Sci.* 73: 291-295.
- Goll, D.E., G.H. Geesink, R.G. Taylor y V.F. Thompson, 1995. Does proteolysis cause all post-mortem tenderization, or are changes in the actin/miosin interaction involved?. *Proc. 41th International Congress in Meat Science and Technology*, San Antonio, Texas, EE.UU.
- Goll, D.E. y R.M. Robson, 1967. Molecular properties of post-mortem muscle 1. Miofibrillar nucleoside triphosphatose activity of bovine muscle. *J. Food Sci.* 32: 323-328.
- Gornal, A.G., C.J. Bardawill y M.M. David, 1949. Determination fo serium proteins by mean of biuret reaction. *J. Biol. Chem.* 177: 751-756.
- Griffiths, C.L., G. Smith, J.W. Savell y M. Shelton, 1982. Palatility of lamb, mutton and goat meat. *Texas Agric. Exp. St. Res. Report C.P.R.* 4026. Texas A&M Univ., EE.UU.

- Guerrero L., I y P. Lara C., 1995. Efectos químicos y microbiológicos de la aplicación de atmósferas modificadas en la conservación de la carne fresca. *Ciencia (Méx.)* 46(3): 350-369.
- Habeeb, A.F.S.A., 1972. Reaction of protein sulfhydryl groups with Ellman's reagent. *Meth. Enzymol.* XXV, part D. Academic Press, Nueva York, EE.UU.
- Hamann, D.D., 1987. Methods for measurement of rheological changes during thermally induced gelation of proteins. *Food Technol.* 41(3): 100, 102-108.
- Hamm, R. y K. Hofmann, 1965. Changes in the sulphhydryl and disulfide groups in beef muscle proteins during heating. *Nature* 207: 1269-1271.
- Hamm, R., 1982. Post-mortem changes in muscle with regard to processing of hot-boned beef. *Food Technol.* 34(11): 105-115.
- Haque, Z. y J.E. Kinsella, 1988. Emulsifying properties of food proteins: bovine serum albumin. *J. Food Sci.* 53(2): 416-420.
- Harper, W.J., 1984. Model food system approaches for evaluating whey protein functionality. *J. Dairy Sci.* 67: 2745-
- Hermansson, A. y C. Åkesson, 1975. Functional properties of added proteins correlated with properties of meat systems. Effects of concentration and temperature on water-binding properties of model meat systems. *J. Food Sci.* 40: 595-602.
- Hermansson, A. y Lucisano, M., 1982. Gel characteristics- waterbinding of blood plasma gels and methodological aspects on the waterbinding of gel systems. *J. Food Sci.* 47: 1955-1959, 1964.
- Hermansson, A., 1979. Aggregation and denaturation involved in gel formation. Cap. 5, En *Functionality and protein structure*, A. Pour-El (Ed.), ACS Symposium Series 92, Nueva York, EE.UU.
- Hermansson, A., 1982a. Gel characteristics- compression and penetration of blood plasma gels. *J. Food Sci.* 47: 1960-1964.

- Hermansson, A., 1982b. Gel characteristics- structure as related to texture and waterbinding of blood plasma gels. *J. Food Sci.* 47: 1965-1972.
- Hickson, D.W., C.W. Dill, R.G. Morgan, V.E. Sweat, D.A. Suter y Z.L. Carpenter, 1982. Rheological properties of two heat-induced proteins gels. *J. Food Sci.* 47: 783-785, 791.
- Hiettiarachchy, N.S. y G.R. Ziegel, 1994. Prefacio, En *Protein Functionality in Food Systems*, N.S. Hiettiarachchy y G.R. Ziegel (Ed.). Marcel Dekker Inc., Nueva York, EE.UU.
- Honkavaara, M., 1995. Effects of freezing time on fat and water holding capacity of pork. Proc. 41th International Congress in Meat Science and Technology, San Antonio, Texas, EE.UU.
- Horgan, D.J., P.N. Jones, N.L. King, L.B. Kurth y R. Kuypers, 1991. The relation between animal age and the thermal stability and cross-link content of collagen from five goat muscles. *Meat Sci.* 29:251-262.
- Howell, N.K., 1991. Protein-protein interactions. Cap. 7, En *Developments in Food Proteins-7*, B.J.F. Hudson (Ed.), Elsevier Applied Sci. Publ., Londres, Gran Bretaña.
- Ishiorshi, M., K. Samejima y T. Yasui, 1979. Heat-induced gelation of myosin: factors of pH and salt concentration. *J. Food Sci.* 44: 1280-1284.
- Ishiroshi, M., K. Samejima y T. Yasui, 1983. Heat-induced gelation of myosin filaments at low salt concentration. *Agric. Biol. Chem.* 47(12). 2809-2816.
- Ito, T., S.K. Sung y T. Fukazawa, 1978. Change of acto-heavy meromyosin ATPase of rabbit skeletal muscle during post-mortem storage. *J. Agric. Food Chem.* 26(2): 324-326.
- Ivey, P.J., N.B. Webb y V.A. Jones, 1970. The effect of disperse droplets size and interfacial film thickness on the emulsifying capacity and stability of meat. *Food Technol.* 24(11): 1279-1311.
- Jaramillo L., H., 1995. Los puros cuentos...del desarrollo humano, pp. 251-252. Edit. Diana, México.

- Jiménez-Colmenero, F. y A.J. Borderías, 1983. A study of the effect of frozen storage on certain functional properties of meat and fish protein. *J. Food Technol.* 18: 731-737.
- Jiménez-Colmenero, F., J. Careche, J. Carballo y S. Cofrades, 1994. Influence of thermal treatment on gelation of actomyosin from different myosystems. *J. Food Sci.* 59(1): 211-21, 220.
- Jiménez-Colmenero, F., M. Cavestany y J. Carballo, 1993. Effects of levels of fat, surimi from sardine (*Sardina pilchardus*) and heat processing on thermal gelation of meat batters. *J. Sci. Food Agric.* 62: 267-272.
- Johnson, D.D., J.S. Eastridge, D.R. Neubauer y C.H. Gowan, 1995. Effect of sex class on nutrient content of meat from young goat. *J. Animal Sci.* 73: 296-351.
- Kato, A., T. Fujishige, N. Matsudomi y K. Kobayashi, 1985. Determination of emulsifying properties of some proteins by conductivity measurement. *J. Food Sci.* 50 (1): 56-58, 62.
- Kato, A., T. Matsuda, N. Matsudomi y K. Kobayashi, 1984. Determination of protein hydrophobicity using a sodium dodecyl sulfate binding method. *J. Agric. Food Chem.* 32(2): 284-288.
- Kijowski, J. y A. Niewiarowicz, 1978a. Emulsifying properties of proteins and meat from broiler breast muscles as affected by their initial pH values. *J. Food Technol.* 13: 451-459.
- Kijowski, J. y A. Niewiarowicz, 1978b. Effect of initial pH in broiler breast muscle on gel forming capacity of meat proteins and on rheological characteristic of frankfurter-type sausage. *J. Food Technol.* 13: 461-468.
- Kinsella, J.E., 1982. Relationship between structure and functional properties of food proteins. Cap. 3, En *Food Proteins*. P.F. Fox y J.J. Condon (Ed.). Elsevier Applied Sci. Publ., Londres, Gran Bretaña.
- Koohmaraie, M., W.H. Kennick, A. Eglesim y A.F. Anglemier, 1984. Effects of post-mortem storage on muscle protein degradation: analysis by SDS-polyacrylamide gel electrophoresis. *J. Food. Sci.* 49: 292-293.

- Kretzschmar, U., 1992. Funktionelle eigenschaften von muskel proteinen. Fleischwurstsch. 72 (6): 905-911.
- Laborde, D. y G. Monin, 1985. Pouvoir de rétention d'eau de la viande de porc: influence du type métabolique musculaire et importance des composants du sarcoplasme. Sci. Aliments 5(3): 353-364.
- Lacroix, C. y F. Castaigne, 1984. Émulsifications des viandes. Sci. Aliments 4(4): 505-521.
- Lamballiere, M., F. Chraiti, J. Culioli y A. Ovali, 1993. Gélification de proteines myofibrillaires bovines. Sci. Aliments 13(2): 237-247.
- Lan, Y.H., J. Novakofsk, R.H. McCusker, M.S. Brewer, T.R. Carr y F.K. Mckeith, 1995a. Thermal gelation properties of proteins fractions from pork and chicken breast muscles. J. Food Sci. 60(4): 742-747, 752.
- Lan, Y.H., J. Novakofsk, R.H. McCusker, M.S. Brewer, T.R. Carr y F.K. Mckeith, 1995b. Thermal gelation of pork, beef, fish, chicken and turkey muscles as affected by heating rate and pH. J. Food Sci. 60(5): 936-940, 945.
- Lan, Y.H., J. Novakofsk, R.H. McCusker, M.S. Brewer, T.R. Carr y F.K. Mckeith, 1995c. Thermal gelation of myofibrils from pork, beef, fish, chicken and turkey. J. Food Sci. 60(5): 941-945.
- Lan, Y.H., J. Novakofski, T.R. Carr y F.K. Mckeith, 1993. Assay and storage conditions affect yield of salt soluble protein from muscle. J. Food Sci. 58 (5): 963-967.
- Landvogt, A., 1991. Errors in pH measurement of meat and meat products by dilution effects. Proc. 37th. International Congress in Meat Science and Technology, Kulmbach, Alemania.
- Lanier, T.C., 1991. Interactions of muscle and non-muscle proteins affecting heat-set gel rheology, Cap. 19, En *Interactions of Food Systems*, N. Parrish y R. Bradford (Ed.), ACS Symposium Series 454, Nueva York, EE.UU.
- Lanier, T.C., T.S. Lin, Y.M. Liu y D.D. Hamann, 1982. Heat gelation properties of actomyosin and surimi prepared from atlantic croacker. J. Food Sci. 47: 1921-1925.

- Lawrie, R.A., 1974. Ciencia de la Carne. Edit. Acribia, Zaragoza, España.
- Lee, C.M., R.J. Carroll y A. Abdollahi, 1981. A microscopical study of the structure of meat emulsions and its relationship to thermal stability. J. Food Sci. 46: 1789-1793, 1804.
- Li-Chan, E., S. Nakai y D.F. Wood, 1984. Hydrophobicity and solubility of meat proteins and their relationship to emulsifying properties. J. Food Sci. 49(2): 345-350.
- Li-Chan, E., S. Nakai y D.F. Wood, 1985. Relationship between functional (fat binding, emulsifying) and physicochemical properties of muscle proteins. effects of heating, freezing, pH and species. J. Food Sci. 50(4):1034-1040.
- Lin, T.M. y J.W. Park, 1996. Protein solubility in pacific whiting affected by proteolysis during storage. J. Food Sci. 61(3): 536-539.
- Lui, Y.M., T.S. Lin y T.C. Lanier, 1982. Thermal denaturation and aggregation of sctomyosin from atlantic croacker. J. Food Sci. 47: 1916-1920.
- López, C., A. Obaya y R. Meléndez, 1995. Estudio de la implantacion de la grasa de bovino (sebo) para la elaboracion de una emulsión cárnica (salchicha tipo viena). Tecnol. Alim. (Méx.) 30(3): 11-18.
- Lorient, D., 1986. Propiedades funcionales de las proteínas de origen animal. Cap. 2, En *Proteínas animales*, C.M. Bourgeois y P. Le Roux (Ed.), Edit. Manual Moderno, México.
- Mackenzie, D., 1993. Goat Husbandry, 5th Edit. Faber and Faber, England.
- Mangino, M.E., 1994. Protein interactions in emulsions: protein-lipid interactions. Cap. 5, En *Protein Functionality in Food Systems*, N.S. Hiettiarachy y G.R. Ziegel (Ed.). Marcel Dekker Inc., Nueva York, EE.UU.
- Martone, C.B., L. Busconi, E.J. Folco, R.E. Trucco y J.J. Sánchez, 1986. A simplified myosin preparation from marine fish species. J. Food Sci. 51: 1554-1555.

- Matsumoto, J.J., 1980. Chemical deterioration of muscle proteins during frozen storage. Cap. 5, En *Chemical Deterioration of Proteins*. J.R. Whitaker y M. Fujimaki (Ed.), ACS Symposium Series 123, Nueva York, EE.UU.
- Mierovitch, K, S. Rackovsky y H.A. Scheraga, 1980. Empirical studies of hydrophobicity. 1. Effects of protein size on hydrophobic behavior of aminoacids. *Macromol.* 13(6): 1398-1405.
- Miller, A.J., A. Ackerman and S.A. Palumbo, 1980. Effects of frozen storage on functionality of meat processing. *J. Food Sci.* 45:1466-1470.
- Molins, R.A., 1993. Microbiología cárnica. Lácteos y Cárnicos Mexicanos 8(4): 7-11.
- Monin, G. y G. Laborde, 1985. Water holding capacity of pig muscle proteins: interaction between the myofibrillar proteins and sarcoplasmic compounds. *Sci. Aliments* 5(2): 341-345.
- Montejano, J.G. y O.G. Morales, 1990. Variación en atributos de calidad de surimis individuales elaborados a partir de trucha, sardina, lenguado, lisa, jinicuaro y carpa. *Biotam* 2(3): 9-18.
- Montejano, J.G., D.D. Hamann y T.C. Lanier, 1983. Final strenghts and rheological changes during processing of thermally induced fish muscle gels. *J. Rheology* 27 (6): 557-579.
- Montejano, J.G., D.D. Hamann y T.C. Lanier, 1985. Comparison of two instrumental methods with sensory texture of protein gels. *J. Text. Stud* 16: 403-424.
- Montejano, J.G., O.G. Morales y R. Diaz, 1994. Propiedades reológicas de geles de surimi liofilizado de trucha (*Cyanoscion nothus*) y tilapia (*Orochromus nilotica*). *Rev. Esp. Ciencia Tecnol. Alim.* 34(2): 165-177.
- Montejano, J.G., 1996. Comunicación personal. ITESM-Querétaro.
- Morr, C.V., B. German, J.E. Kinsella, J.M. Regestein, J.P. Van Buren, A. Kilara, B.A. Lewis y M.E. Mangino, 1985. A collaborative study to

- develop a standardized food protein solubility procedure. *J. Food Sci.* 50: 1715-1718.
- Morrissey, P.A., D.M. Mulvihill y E. M. O'Neill, 1987. Functional properties of muscle proteins. Cap. 5, En *Developments in Food Proteins -5*, Hudson, B.J.F. (Ed.). Elsevier Applied Sci. Publ., Londres, Gran Bretaña.
- Muller, H.G., 1977. Introducción a la reología de los alimentos. Edit. Acribia, Zaragoza, España.
- Nakai, S. y E. Li-Chan, 1988. Hydrophobic interaction in food systems. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A.
- Nakai, S., 1983. Structure-function relationship of food proteins with emphasis on the importance of protein hydrophobicity. *J. Agric. Food Chem.* 31(4): 676-683.
- Ngapo, T, B. Wilkinson, R. Chong y D. Haisman, 1992. Gelation of bovine myofibrillar protein by 1,5-glucolactone. Proc. 38th International Congress in Meat Science and Technology, Clermont-Ferrand, Francia.
- Niwa, E., T. Nakayama y I. Hamada, 1983. The third evidence for the participation of hydrophobic interactions in fish flesh gel formation. *Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.* 49(11): 1763.
- Niwa, E., Y. Matsubara y I. Hamada, 1982. Hydrogen and other polar bondings in fish flesh gels and setting gel. *Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.* 48(5): 667-670.
- Norman, G.A., 1991. The potential of meat from the goat. Cap. 2, En *Developments In Meat Science -5*, R.A. Lawrie (Ed.). Elsevier Applied Sci. Publ., Londres, Gran Bretaña.
- Noskowa, G.L., 1972. Microbiología de las carnes conservadas por el frío. Edit. Acribia., Zaragoza, España.
- Nucies, R.O., D.M. Smith y R.A. Merkel, 1991. Properties of heat-induced gels from beef skeletal, heart, lung and spleen protein fractions. *J. Food Sci.* 56(5): 1165-1170.

- Offer, G., D. Restall y J. Trinick, 1984. Water-holding in meat. Cap. 5, En *Recent advances in the chemistry of meat*, A.J. Bailey (Ed.). The Royal Soc. of Chem., Londres, Gran Bretaña.
- Öztan, A. y H. Wral, 1993. A study on the changes of WHC and the free water portion on beef. *Gida* 18(1):29-33 [En *Food Sci. Technol. Abstr.* (1995) 27(2): 206].
- Park, W.P., 1990. Effect of breed, sex and tissues on concentration of macrominerals in goat meat. *J Food Sci.* 55(2):308-311.
- Park, Y.W. y A.C. Washington, 1993. Fatty acid composition of goat organ and muscle meat of alpine and nubian breeds. *J. Food Sci.* 58(2): 245-248, 253.
- Park, Y.W., M.A. Kouassi y K.B. Chin, 1991. Moisture, total fat and cholesterol in goat organ and muscle meat. *J. Food Sci.* 56(5):1191-1193.
- Paschal, J.C., 1991. Opportunities for development of meat goat breeds. National Symposium On Goat Meat, Production And Marketing. Oklahoma, EE.UU.
- Pearce, K.N. y J.E. Kinsella, 1978. Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. *J. Agric. Food Chem.* 26(3): 716-723.
- Pour-El, A., 1981. Protein functionality: classification, definition and methodology. En *Protein Functionality In foods*, J.P. Cherry (Ed.). ACS Symposium Series 147, Nueva York, EE.UU.
- Powrie, W.P. y M.A. Tung, 1985. Dispersiones alimenticias. Cap. 12, En *Introducción a la Ciencia de los Alimentos*, O.R. Fennema (Ed.), Edit. Reverte, Zaragoza, España.
- Radhakrishna K., D. Vijaya-Rao y T.R. Sharma, 1989. Characterisation of the mayor component in thermostable muscle proteins. *J. Food Sci. Tech. (India)* 26(1):32-35.
- Ranken, M.D. 1985. Composition of meat. Cap. 1 *In Developments of Food Proteins -3*, B.J.F. Hudson (Ed.), Elsevier Applied Sci. Publ., Londres, Gran Bretaña.

- Rodriguez P., F.J., 1985. Algunas propiedades funcionales de las proteínas en alimentos y los métodos para su evaluación. *Ind. Alimentaria (Méx.)* 7(6): 4-7, 19.
- Rust, R.E. y C.L. Knipe, 1996. Meat emulsion systems. VII Simp. CentroAmericano y del Caribe sobre Procesamiento de Carnes. San Jose, Costa Rica.
- Saffle, R.L., 1968. Meat emulsions. *Adv. Food Res.* 16: 105-160.
- Sahw, T. y T.H. Teh, 1991. Producing goat meat for cabrito. National Symposium on Goat Meat, Production and Marketing. Oklahoma, EE.UU.
- Sakamoto, H., Y. Kumazawa, S. Toiguchi, K. Seguro, T. Soeda, y M. Motoki, 1995. Gel strength enhancement by addition of microbial transglutaminase during onshore surimi manufacture. *J. Food Sci.* 60 (2): 300-304.
- Samejima, K., B. Egelanddsdal y K. Fretheim, 1985. Heat gelation properties and protein extractability of beef myofibrils. *J. Food Sci.* 50: 1540-1543, 1555.
- Samejima, K., M. Ishioroshi y T. Yasui, 1982. Heat-induced gelling properties of actomyosin: effect of tropomyosin and troponin. *Agric. Biol. Chem.* 46 (2): 535-540.
- Samejima, K., M. Ishioroshi y W.C.D. Livera, 1990. Effect of added fatty acids on heat-induced gelation of myosin. *Proc. 36th International Congress in Meat Science and Technology, La Havana, Cuba.*
- Samejima, K., Y. Oka, K. Yamamoto, A. Asghar y T. Yasui, 1986. Effects of temperature, actin-myosin ratio, pH, and salt and protein concentration on heat-induced gelling of cardiac myosin and reconstituted actomyosin. *Agric. Biol Chem.* 50(8): 2101-2110.
- Sano, T., S.F. Noguchi, T. Tsuchiya y J.J. Matsumoto, 1986. Contribution of paramyosin to marine meat gel characteristics. *J. Food Sci.* 51(4): 946-950.
- Santos, C., A.S. Carvalho y L.C. Roseivo, 1989. Optimising functional properties of proteins for production of meat products emulsions.

- Proc. 35th International Congress in Meat Science and Technology, Copenhagen, Dinamarca.
- Scopes, R.K., 1964. The influence of post-mortem conditions on the solubilities of muscle myofibrillar proteins. *Biochem. J.* 91:201-207.
- Schmidt, R.H., 1981. Gelation and coagulation. Cap. 7, En *Protein Functionality in Foods*, J.P. Cherry (Ed.), ACS Symposium Series 147, Nueva York, EE.UU.
- Schoen, H.M., 1977. Functional properties and their measurement. Cap. 16, En *Food Proteins*, J.R. Whitaker y S.R. Tannenbaum (Ed.), Avi Publishing Co., Nueva York, EE.UU.
- Schut, J., 1976. Meat emulsions. Cap. 8, En *Food Emulsions*. S. Fridberg (Ed.), Marcel Dekker Inc., Nueva York, EE.UU.
- Smith, C., M. Pike y Z. Carpenter, 1974. Comparison of the palatability of goat meat and meat from four other animal species. *J. Animal Sci.* 50: 1145- [En *Food Sci. and Technol. Abstr.* (1975) 7(5): 193.]
- Smith, C., Z. Carpenter y M. Shelton, 1978. Effect of age and quality level of the palatability of goat meat. *J. Animal Sci.* 46(5): 1229-1235.
- Smith, D.M., 1988. Meats proteins: functional properties in comminuted meat products. *Food Technol.* 42(5): 116-121.
- Smith, D.M., 1991. Factors influencing heat-induced gelation of muscle proteins. Cap. 17, En *Interactions in Food Proteins*, N. Parris y R. Barford (Ed.), ACS Symposium Series 454, Nueva York, EE.UU.
- Smith, D.M., 1996. Comunicación personal. Department of Food Science and Human Nutrition. Michigan State University. EE.UU.
- Srikar, L.N. y G.V.S. Reddy, 1991. Protein solubility and emulsifying capacity in frozen stored fish mince. *J. Sci. Food Agric.* 55: 447-453.
- Srinivasan, K.S. y M.N. Moorjani, 1974. Essential aminoacids content of goat meat in comparison with other meats. *J. Food Sci. Technol. (India)* 11(3): 123-124 [En *Food Sci. Technol. Abstr.* (1975) 7(5): 196].

- Stainsby, G., 1986. Foaming and emulsification. Cap. 7, En *Functional Properties of Food Macromolecules*, J.R. Mitchell y D.A. Ledward (Ed.), Elsevier Applied Sci. Publ., Londres, Gran Bretaña.
- Stanley, D.W., A.P. Stone y H.O. Huting, 1994. Solubility of beef and chicken myofibrillar proteins in low ionic strength media. *J. Agric. Food Chem.* 42(4): 863-867.
- Steel, R.G. y J.H. Torrie, 1988. Análisis de varianza III: experimentos factoriales. Cap. 15, En *Bioestadística: principios y procedimientos* (2a. Ed.). McGraw-Hill, Bogotá, Colombia.
- Sulzbacher, W.L, 1973. Meat emulsions. *J. Sci. Food Agric.* 24: 589-595.
- Swift, C.E., C. Lockett y A.J. Fryar, 1961. Comminuted meat emulsion -the capacity of meats for emulsifying fats. *Food Technol.* 15(11): 468-
- Tanabe, R., H. Nakai y K. Takahashi, 1992. Post-mortem changes in skeletal muscle connectin. *Proc. 38th International Congress in Meat Science and Technology*, Clermont-Ferrand, Francia.
- Tarrant, P.V., 1982. Muscle proteins in meat technology. Cap. 14, En *Foods Proteins*, P.F. Fox y J.J. Condon (Ed.). Elsevier Applied Sci. Publ., Londres, Gran Bretaña.
- Tejada, M., 1994. Gelation of myofibrillar fish proteins. *Rev. Esp. Cienc. Technol. Aliment.* 34(3): 257-273.
- Terrel, R., 1980. What's going on inside that casing?. *Meat Ind.* 51(10): 56-57.
- Torgensen, H. y T. Toledo, 1977. Physical properties of protein preparations related to their functional characteristic in comminuted meat systems. *J. Food Sci.* 42(6): 1615-1620, 1645.
- Turgut, H., 1984. Emulsifying capacity and stability of goat, waterbuffalo, sheep and cattle muscle proteins. *J. Food Sci.* 49(1): 168-171, 182.
- Valenzuela M., M., 1996. Funcionalidad de las proteínas solubles en solución salina de la carne de pavo deshuesada mecánicamente. Tesis Maestría en Ciencias, CIAD-AC, Hermosillo, Son., México.

- Van der Oord, A.H.A. and J.J. Westdorp, 1978. Solubility of meat proteins: interdependence of pH, sodium chloride, pyrophosphate and intrinsic of the meat. Proc. 24th European Meeting of Meat Research Workers, Frankfurt, Alemania.
- Voet, D. y J.G. Voet, 1990. Biochemistry. John Wiley and Sons, Nueva York, EE.UU.
- Voutsinas, L. P., E. Cheung y S. Nakai, 1983. Relationship of hydrophobicity to emulsifying properties of heat denatured proteins. J. Food Sci. 48(1): 26-35.
- Wagner, J.R. y M.C. Añon, 1985. Effects of freezing rate on denaturation of myofibrillar proteins. J. Food Technol. 20: 73-744.
- Wagner, J.R. y M.C. Añon, 1986a. Effect of freezing rate on the denaturation of myofibrillar proteins. 1. Myofibrillar ATPase activity and differential scanning studies. J. Food Technol. 21: 9-18.
- Wagner, J.R. y M.C. Añon, 1986b. Effect of frozen storage on protein denaturation in bovine muscle II. Influence on solubility, viscosity and electrophoretic behavior of myofibrillar proteins. J. Food Technol. 21: 547-558.
- Whiting, R.C., 1988. Ingredients and processing factors that control muscle protein functionality. Food Technol. 42(5):104, 110-114, 210.
- Wilding, P., P.J. Lillford y J.M. Regenstein 1984. Functional properties of protein in foods. J. Chem. Tech. Biotechnol. 34B: 182-189.
- Woloszyn, J., 1992. Rola białek miofibrylarnych w kreowaniu właściwości funkcjonalnych mięsa. Godosporaka-mięsa 44(10): 22-25.
- Wu, F.Y. y S.B. Smith 1987. Ionic strength and myofibrillar protein solubilization. J. Animal Sci. 65: 597-608.
- Xianmin, M., M. Lizhen, J. Fuhu L. Nanyu y H. Li, 1991a. Research on producing goat odour removed sausage using cover pickle from pickled cabbage. Proc. 37th International Congress in Meat Science and Technology, Kulmbach, Alemania.

- Xianmin, M., M. Lizhen, J. Fuhu L. Nanyu y H. Li, 1991b. Research on chemical componentes of goat odour. Proc. 37th International Congress in Meat Science and Technology, Kulmbach, Alemania.
- Xiong, Y.L. y A.F. Anglemier, 1989. Gel electrophoretic analysis of the protein changes in ground beef stored at 2°C. J. Food Sci. 54(2): 287-290.
- Xiong, Y.L. y C.J. Brekke, 1989. Changes in protein solubility and gelation of chicken myofibrils during storage. J. Food Sci. 54(5): 1141-1146.
- Xiong, Y.L. y S. Blanchard, 1993. Functional properties of myofibrillar proteins from cold-shortened and thaw-rigor bovine muscles. J. Food Sci. 48: 720-723.
- Xiong, Y.L., 1994. Myofibrillar protein from different muscle fiber types: implication of biochemical and functional properties in meat processing. Crit. Rev. Food Sci. Nut. 34(3): 293-320.
- Xiong, Y.L., 1996. Comunicación personal. Departament of Animal Science. University of Kentucky. EE.UU.
- Yamauchi, K., M. Shimizua y T. Kamiya, 1980. Emulsifying properties of whey proteins. J. Food Sci. 45: 1237-1242.
- Yasui, T., M. Ishioroshi y K. Samejima, 1982. Effects of actomyosin on heated-induced gelation of myosin. Agric. Biol. Chem. 46(4): 1049-1059.
- Yasui, T., M. Ishioroshi, H. Nakano y K. Samejima, 1979. Changes in shear modulus, ultrastructure and spin-spin relaxation time of water associated with heat-induced gelation of myosin. J. Food Sci. 44: 1201-1204, 1211.
- Yu, L.P. y Y.B. Lee, 1986. Effects of post-mortem pH and temperature on bovine muscle structure and meat tenderness. J. Food Sci. 51(3): 774-780.
- Ziegler, G.R. y J.C. Acton, 1984. Mechanisms of gel formation by protein of muscle tissue. Food Technol. 38(5): 77-82.