

Cuaderno de Tecnología N° 2
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, México, 2006
ISBN 968-5441-02-2
Editores: Héctor M. Poggi-Varaldo (CINVESTAV), Ma. Eugenia Bátiz y Solórzano (TESE),
José Alfredo Pineda-Cruz (TESE), Sergio Caffarel-Méndez (TESE)

TECNOLOGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC



“2006: Año del Presidente de México Benito Pablo Juárez García”

CUADERNO DE TECNOLOGÍA N° 2
ISBN 968-5441-02-2

FUNCIONALIDAD DE PROTEÍNAS MUSCULARES

ALFONSO TOTOSAUS
Laboratorio de Alimentos
División de Ingeniería Química y Bioquímica
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.
e-mail: atotosaus@tese.edu.mx

Ecatepec de Morelos, Estado de México
México. Año 2006

Cuaderno de Tecnología N° 2
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, México, 2006
ISBN 968-5441-02-2
Editores: Héctor M. Poggi-Varaldo (CINVESTAV), Ma. Eugenia Bátiz y Solórzano (TESE),
José Alfredo Pineda-Cruz (TESE), Sergio Caffarel-Méndez (TESE)

DIRECTORIO

H. Junta Directiva del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

DR. ISIDRO MUÑOZ RIVERA

Secretario de Educación del Gobierno del Estado de México
Presidente de la Junta Directiva

DR. LUIS VIDEGARAY CASO

Secretario de Finanzas del Gobierno del Estado de México
Vocal de la Junta Directiva

MAESTRO RAFAEL FREYRE MARTÍNEZ

Director General de Planeación, Programación y Presupuesto, Secretaría de Educación Pública
Vocal de la Junta Directiva

M.B.A. JOSÉ ANTONIO PARDO SAAVEDRA

Titular de la Oficina de Servicios Federales de Apoyo a la Educación en Estado de México
Vocal de la Junta Directiva

ING. JOSÉ ALFREDO LIZÁRRAGA DÍAZ

Director de Institutos Tecnológicos Descentralizados, SEP
Vocal de la Junta Directiva

C. JOSÉ LUIS CRUZ FLORES

Presidente Municipal Sustituto de Ecatepec de Morelos,
Vocal de la Junta Directiva

PROF. ROBERTO RUIZ LLANOS

Representante del Sector Social
Vocal de la Junta Directiva

LIC. MANUEL BAUTISTA LOPEZ

Representante del Sector Productivo
Vocal de la Junta Directiva

C.P. JORGE ISAAC HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

Director de Control y Evaluación de Educación Media Superior y Superior
del Gobierno del Estado de México
Comisario de la Junta Directiva

DR. RUBÉN JAIME BARAJAS VÁZQUEZ

Representante del Sector Privado
Secretario de la Junta Directiva

Cuaderno de Tecnología N° 2
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, México, 2006
ISBN 968-5441-02-2
Editores: Héctor M. Poggi-Varaldo (CINVESTAV), Ma. Eugenia Bátiz y Solórzano (TESE),
José Alfredo Pineda-Cruz (TESE), Sergio Caffarel-Méndez (TESE)

Autoridades del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

M. en A. Uriel Galicia Hernández
Director General

C.P. Ma. Eugenia Bátiz y Solórzano
Directora Académica

M. en A. Álvaro Gómez Carmona
Director de Apoyo y Desarrollo Académico

Lic. Jorge Rojas Sánchez
Director de Vinculación y Extensión

M. en A. Alfonso Martínez Reyes
Director de Administración y Finanzas

L.C. Irineo Ocaña Bruno
Contralor Interno

Lic. José Misael Marín Luciano
Abogado General

Lic. Jorge Arturo Unzueta Méndez
Jefe de la Unidad de Planeación

MENSAJE DEL DIRECTOR GENERAL

El Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE) es un Organismo Público Descentralizado del Estado de México creado en el mes de septiembre de 1990. En él se imparten actualmente nueve carreras de licenciatura y cuatro programas de posgrado, con una matrícula de 5568 alumnos en el primer nivel y de 76 alumnos en los programas de maestría. Por ser un tecnológico que tiene el 92% de su matrícula en programas acreditados (el 100% de sus carreras evaluables se encuentran acreditadas por organismos reconocidos por el COPAES), poseer varios de sus procesos certificados y tener un programa de Maestría en el Padrón Nacional de Posgrado del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, se le considera un Tecnológico de Alto Desempeño. Fue el primero, en ser creado, de los Institutos Tecnológicos Descentralizados a nivel nacional, y el único a la fecha dentro de este Subsistema, en tener estas características.

Entre los objetivos del Tecnológico, además de la formación de profesionales, profesores e investigadores aptos para la aplicación y generación de conocimientos, está el de promover la cultura nacional y universal especialmente la de carácter tecnológico. En ese sentido para el TESE es de suma importancia propiciar acciones que conlleven a la difusión de los resultados de sus actividades de investigación, y a la publicación de obra editorial propia.

Así, el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec se enorgullece en presentar en esta ocasión la primera de esta Serie denominada “Cuadernos de Tecnología del TESE”, que trata diversos temas relacionados con la ciencia y la tecnología en áreas muy diversas. Entre otras tenemos la Ingeniería Bioquímica, la Ingeniería Industrial, la Ingeniería Mecatrónica, la Ingeniería Química, la Ingeniería Electrónica, la Ingeniería en Sistemas Computacionales, la Ingeniería Mecánica, la Licenciatura en Informática y la Licenciatura en Contaduría.

Esta primera entrega consta de los siguientes títulos:

1. Producción de Hidrógeno. Una Opción Biotecnológica.
2. Funcionalidad de Proteínas Musculares.
3. ¿Cómo Medir la Diversidad?
4. Álgebra Lineal.
5. Mecánica Clásica.
6. Electrodinámica Clásica.

El presente libro en formato electrónico -disco compacto- forma parte de la misma. Su contenido está escrito en un lenguaje que en lo posible trata de ser sencillo, pero apoyado en los conocimientos y experiencias de ingenieros y licenciados que han encaminado sus esfuerzos para especializarse en alguna de las muchas disciplinas científicas y tecnológicas.

A través de un esfuerzo sin precedentes, con su publicación se busca proporcionar información de utilidad para todas aquellas personas, estudiantes, docentes y profesionistas de las disciplinas mencionadas, que quieren ampliar su bagaje de conocimientos.

El Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec desea que la información contenida en esta serie "Cuadernos de Tecnología del TESE" sea de utilidad en el quehacer diario de aquellas personas interesadas en su superación personal, y con ello también de la sociedad mexiquense y mexicana en su conjunto.

No poniendo en duda el interés que generará en nuestros estudiantes, profesores y profesionales esta obra editorial, queda pues en sus manos.

M. EN A. URIEL GALICIA HERNÁNDEZ
DIRECTOR GENERAL

Cuaderno de Tecnología N° 2
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, México, 2006
ISBN 968-5441-02-2
Editores: Héctor M. Poggi-Varaldo (CINVESTAV), Ma. Eugenia Bátiz y Solórzano (TESE),
José Alfredo Pineda-Cruz (TESE), Sergio Caffarel-Méndez (TESE)

Funcionalidad de Proteínas Musculares

Alfonso Totosaus

Laboratorio de Alimentos, Edificio J

División de Ingeniería Química y Bioquímica

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

Ecatepec de Morelos, Estado de México, México

E-mail: atotosaus@tese.edu.mx

Acerca del autor

Alfonso Totosa Sánchez nació en la Ciudad de México y es Ingeniero en Alimentos por la UAM-Iztapalapa. Realizó sus estudios de Maestría en Biotecnología (UAM-Iztapalapa) y el Doctorado en Ciencias Biológicas (UAM-Iztapalapa). Desde el 2003 es profesor en la División de Ingeniería Química y Bioquímica del TESE impartiendo la materia de Ciencia y Tecnología de Carnes en la Licenciatura en Ingeniería Bioquímica y Química de Alimentos en la Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Sus investigaciones están relacionadas con las propiedades funcionales de hidrocoloides o biopolímeros (proteínas o polisacáridos) en sistemas alimenticios, especialmente en sistemas cárnicos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde el año 2001.

Índice

| | |
|---|----|
| 0 Resumen | 1 |
| 1 Las Proteínas en alimentos | 2 |
| 1.1 Naturaleza de las proteínas | 2 |
| 1.2 Niveles Estructurales | 3 |
| 1.3 Niveles Funcionales..... | 4 |
| 1.3.1 Proteínas estructurales | 5 |
| 1.3.2 Proteínas con actividad biológica | 5 |
| 1.3.3 Proteínas alimentarias..... | 6 |
| 2 Propiedades funcionales de las proteínas alimentarias | 6 |
| 2.1 Sistemas modelo en el estudio de la funcionalidad | 10 |
| 2.2 Solubilidad | 11 |
| 2.3 Emulsión | 13 |
| 2.3.1 Proteínas como emulsificantes | 13 |
| 2.3.2 Capacidad de emulsión..... | 15 |
| 2.4 Gelificación | 18 |
| 2.4.1 Teoría de la gelificación inducida por calor | 20 |
| 2.4.1.1 Pasos involucrados en el mecanismo de la gelificación | 21 |
| 2.4.2 Fuerzas involucradas en la gelificación..... | 26 |
| 2.4.3 Factores que afectan la formación del gel..... | 27 |
| 2.4.4 Gelificación y Textura..... | 32 |
| 3 Proteínas musculares..... | 37 |
| 3.1 Propiedades funcionales de las proteínas musculares | 40 |
| 3.1.1 Solubilidad de proteínas musculares..... | 44 |
| 3.1.2 Batido o emulsión cárnica | 44 |
| 3.1.3 Gelificación de proteínas musculares..... | 46 |
| 3.2 Factores que afectan la funcional de la carne | 48 |
| 3.2.1 Efecto del congelamiento | 49 |
| 4 Conclusiones..... | 55 |
| 5 Referencias | 55 |

0 Resumen

La funcionalidad de las proteínas es definida como las propiedades no nutricionales que determinan la utilidad de éstas en alimentos procesados, participando en atributos como la textura y el color. Las principales propiedades funcionales son solubilidad, emulsificación y gelificación. Éstas se ven modificadas por la composición de aminoácidos, la cual está ligada también al origen de las mismas, ya sea animal o vegetal. El segundo evento que modifica la funcionalidad son las condiciones del medio ambiente o del alimento y proceso durante la extracción o aislamiento de estas proteínas. El pH, la temperatura y la fuerza iónica y el tipo de iones tienen gran influencia sobre el desempeño funcional. La solubilidad es la propiedad más importante ya que si la proteína no está soluble, no es funcional dentro del alimento, esto es, no puede emulsionar grasas o formar un gel. En sistemas cárnicos, donde las proteínas tienen el doble papel de servir de emulsificantes y gelificantes, las propiedades texturales dependen de su funcionalidad. La modificación de estas propiedades manipulando el medio ambiente permite obtener nuevos atributos en productos cárnicos al disminuir el contenido de sal o grasa, sin los concomitantes efectos detrimentales.

1 Las Proteínas en alimentos

Las proteínas son en muchos alimentos el principal componente funcional. Al ser los alimentos sistemas multicomponentes, la interacción entre los diferentes compuestos que lo conforman define también las propiedades de los mismos. Las propiedades de unión o interacción de las proteínas están influenciadas por el pH y la fuerza iónica, ya que estos afectan al área superficial y las propiedades electrostáticas y de conformación de las moléculas. Otras modificaciones, enzimáticas, mecánicas, térmicas, químicas y tratamientos durante el proceso, influyen también estas interacciones, sobre todo durante almacenamiento y al cocinar los alimentos (Kinsella, 1976).

1.1 Naturaleza de las proteínas

Las proteínas son macromoléculas complejas que pueden constituir el 50% o más del peso seco de las células vivas, jugando un papel fundamental en la estructura y la función de éstas. Las proteínas son más complejas que la mayoría de otros biopolímeros, ya que pueden incorporar hasta 20 diferentes monómeros o aminoácidos en su construcción en vez de uno o dos. Es solamente la diferencia en el tamaño y la secuencia lo que distingue una proteína de otra y que hace posible una diversidad de estructuras y funciones. Más importante aún, la cadena polimérica lineal de casi cada proteína natural tiene la propiedad crucial de poder

asumir un plegamiento conformacional específico. La masa molecular de estos polímeros y su secuencia de aminoácidos en las cadenas conocidas dan el nombre a estas proteínas (Cheftel y col., 1985; Creighton, 1993).

Cada proteína está caracterizada por su conformación, es decir, por su estructura tridimensional. Así, las proteínas fibrosas están compuestas por cadenas polipeptídicas ensambladas a lo largo de un eje lineal común formando una fibra, como la colágena, la queratina, la elastina y la fibrina. Por otra parte, las proteínas globulares están compuestas por una o varias cadenas polipeptídicas enrolladas sobre sí mismas para formar una estructura tridimensional de formas esféricas o globulares, como las globulinas y albúminas. Algunas moléculas poseen a la vez ambas propiedades de proteínas globulares o fibrosas, como la actina y el fibrinógeno (Cheftel y col., 1985).

1.2 Niveles Estructurales

La estructura primaria corresponde al orden secuencial de aminoácidos en una proteína unidos vía el enlace peptídico. Generalmente, entre 50 y 3000 aminoácidos se unen para formar una cadena polipeptídica lineal. La estructura secundaria es considerada como la conformación local de la cadena polipeptídica. Este arreglo tridimensional puede adquirir varias conformaciones regulares, dependiendo del largo y composición de la cadena. La estructura más conocida y

más fácilmente reconocible es la α -hélice. La geometría detallada de esta estructura varía con el plegamiento de las proteínas, dependiendo del medio ambiente, dando lugar a una familia de estructuras muy similares. Después de la α -hélice, la segunda estructura adoptada por homo-polipéptidos es la hoja plegada- β . La estructura terciaria es la topología global de la cadena polipeptídica plegada, mientras la estructura cuaternaria vendría a ser el agrupamiento de varias proteínas o dominios en una sola proteína.

1.3 Niveles Funcionales

Las proteínas poseen una extraordinaria diversidad de funciones y pueden clasificarse arbitrariamente en tres principales categorías (Cheftel y col., 1985):

- Proteínas estructurales
- Proteínas con actividad biológica
- Proteínas alimentarias

Todas estas proteínas están compuestas con los mismos aminoácidos. La proporción y el orden de éstos son específicos para cada cadena proteica y le confieren las propiedades conformacionales y químicas necesarias para la expresión de una actividad específica.

1.3.1 Proteínas estructurales

Las proteínas estructurales (como queratina, colágena, elastina, etcétera) están presentes en todos los tejidos y músculos, huesos, piel, órganos internos, membranas celulares y organelos intracelulares. Su función depende en gran medida de su estructura fibrosa.

1.3.2 Proteínas con actividad biológica

Las proteínas dotadas con una actividad biológica tienen un papel activo en los procesos bioquímicos. Las enzimas son las proteínas más importantes en este grupo. Hay más de 2000 enzimas identificadas; moléculas dotadas de una actividad catalítica altamente específica. Entre las otras proteínas con actividad biológica, se pueden citar a las hormonas que regulan las reacciones metabólicas (como la insulina), proteínas contráctiles (miosina y actina), proteínas de transporte (hemoglobina o transferrina), proteínas presentes en la sangre de vertebrados (inmunoglobulinas, fibronogenina, trombina) y proteínas de reserva que alimentaran al embrión (ovalbúmina, gliadina). Existen igualmente proteínas con capacidad tóxica (toxinas y venenos).

1.3.3 Proteínas alimentarias

Las proteínas alimentarias no representan un grupo único ya que las proteínas descritas anteriormente como estructurales o con actividad biológica pertenecen también a este grupo. Las proteínas alimentarias pueden clasificarse en dos grandes grupos: animales y vegetales; aunque se podría incluir las obtenidas de microorganismos (proteína unicelular).

2 Propiedades funcionales de las proteínas alimentarias

Dependiendo principalmente de la composición de aminoácidos (ya que la disponibilidad como tal de las proteínas está restringida al método de extracción o purificación, ya sea para estudio o consumo, durante proceso o cocimiento), tanto proteínas animales como vegetales poseen ciertas propiedades, las cuales dan las características específicas a éstas y pueden clasificarse en propiedades nutricionales y funcionales. Las propiedades nutricionales de las proteínas alimentarias son la base de la alimentación del hombre. Los 20 aminoácidos de que están compuestas las proteínas son indispensables para la vida y desarrollo de todo organismo. El balance de aminoácidos en los diferentes alimentos de la dieta diaria tiene influencia en la salud y el desarrollo del ser humano y de los animales en general. No se ahondará en las propiedades nutricionales de las proteínas en los alimentos.

La definición de funcionalidad puede variar de un autor a otro, según desde que punto de vista se defina y el campo de interés de los definidores. En términos generales, la funcionalidad aplicada a las proteínas alimentarias se refiere a todas las propiedades no nutricionales que condicionan su utilidad en un alimento (Borderías y Montero, 1988). Además se emplea a menudo para denotar cualquier propiedad de una proteína, o grupo de proteínas, que pueden ser utilizadas ya sea como ayuda en el proceso (esto es, dar viscosidad o mantener una emulsión) o como contribuyente directo a los atributos del producto final (es decir, dar la textura, color y sabores característicos) (Wilding y col., 1984). También puede ser definida como la habilidad de las proteínas para dar propiedades deseadas, ya sea definidas en términos de interacciones bioquímicas, métodos analíticos o características sensoriales (Whiting, 1988).

Por otra parte, la funcionalidad es una expresión de las propiedades fisicoquímicas de las proteínas modificadas por las condiciones ambientales (Smith, 1988). Las propiedades fisicoquímicas se derivan de la composición de aminoácidos, la secuencia de éstos, y las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria (Pour-Ei, 1981). La manifestación de esta funcionalidad depende de dos importantes aspectos de las proteínas:

-
- 1) Las propiedades hidrodinámicas, es decir, como se ven afectadas por las condiciones del medio [temperatura, pH, fuerza iónica, etcétera] la forma y flexibilidad de las proteínas; y,
 - 2) Las propiedades de superficie relativa, donde la hidrofobicidad, hidrofilidad, fuerzas electrostáticas e impedimentos estéricos rigen las características de la superficie de las proteínas en contacto con otros constituyentes del sistema, como pueden ser otras proteínas, lípidos, etcétera, así como con el solvente donde se encuentran [esto es, agua] (Damodaran, 1994).

La clasificación de estas interacciones entre proteína y los otros componentes del sistema se divide principalmente en tres grupos (Rodríguez, 1985):

- a) Propiedades dependientes de la interacción *proteína-agua*, o de hidratación. La conformación de las moléculas proteicas depende de su interacción con el agua, que a su vez depende de los grupos polares de la proteína. Las propiedades funcionales relacionadas son la humectación (absorción de agua), la capacidad de retención de agua, la solubilidad y la viscosidad. Otras propiedades, como la gelificación, la capacidad de emulsión y la capacidad de espumación, requieren de una gran dispersión y solubilización para que puedan funcionar adecuadamente en el sistema.

- b) Propiedades dependientes de las interacciones *proteína-proteína*. La gelificación, que es la agregación de las moléculas desnaturalizadas para formar una red proteica ordenada, es la propiedad más importante. La red que se forma es la responsable de retener la grasa, agua, sabores, etcétera, en productos procesados.
- c) Propiedades dependientes de la interacción *proteína-grasa* o *proteína-aire*. Denominadas también propiedades de superficie, donde la capacidad de emulsión (dispersión de una grasa o aceite en una fase acuosa) y la capacidad de espumación (dispersión de burbujas de gas en fase continua líquida o semisólida), definen la estabilidad de productos como emulsiones o espumas, dependientes de la capacidad de interacción de las proteínas en la interfase.

A escala industrial, la importancia de la funcionalidad en las proteínas se agrupa en tres niveles, de acuerdo a su mecanismo de acción durante el proceso (Ziegler y Acton, 1984):

- A. Sensorial, donde son responsables de propiedades como la textura, el color, el sabor o el poder edulcorante del alimento;

-
- B. Formulación, ya que permiten mantener ciertas características específicas de la formulación, como agentes espumantes, emulsificantes o uniendo agua; y,
- C. Proceso, que es la facilidad de llevar a cabo un determinado proceso, es decir, las propiedades de viscosidad o emulsificación que confiere al sistema para ser bombeado o manejado durante el proceso.

De esta manera, las propiedades funcionales de las proteínas son las responsables de las interacciones que se dan entre estas y otros componentes del sistema, debido al proceso y las condiciones del mismo. La conformación de las proteínas, debidas a su balance de aminoácidos, gobierna esta funcionalidad. La influencia del medio ambiente definirá su desempeño final.

2.1 Sistemas modelo en el estudio de la funcionalidad

Para el estudio de la funcionalidad, y el efecto de diferentes condiciones de proceso, es necesario emplear sistemas modelo. Los sistemas modelo son de composición simple en comparación con los sistemas biológicos que son de naturaleza muy compleja, donde muchos factores afectan las relaciones entre las propiedades funcionales de los diferentes constituyentes (Jiménez-Colmenero y Borderías. 1983, Lacroix y Castaigne. 1984). Los factores que afectan la formación y estabilidad de estos sistemas complejos pueden ser determinados con razonable

precisión en sistemas modelo que asemejen las condiciones de proceso. En orden de simplificar la investigación de los papeles desempeñados por uno o varios ingredientes, los sistemas modelo permiten la combinación de dos o más componentes controlando las condiciones que son generalmente utilizadas, aproximándose a la obtención de valores cuantitativos en la determinación de las propiedades funcionales, como una simple y racional manera de evaluar nuevos ingredientes (Sulzbacher. 1973).

Pour-El (1981) definió los criterios experimentales que construyen las reglas generales para el estudio de sistemas modelo, teniendo en cuenta: 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 proteínicos y no proteínicos.

2.2 Solubilidad

La solubilidad es la propiedad funcional más importante, ya que otras no menos importantes, como la emulsificación, gelificación, o capacidad de retención de agua, son afectadas directamente por está (Wilding y col., 1984). La solubilidad depende del peso molecular, la secuencia de aminoácidos, la conformación y

asociación entre las moléculas y la relación de grupos hidrofóbicos en la proteína (Kinsella, 1982). Las proteínas en medio acuoso tienden a formar ya sea una solución verdadera, una solución coloidal o una suspensión estable de partículas insolubles (Borderías y Montero, 1988). Sin embargo, el prerrequisito de que una proteína tenga alta solubilidad no siempre es correcto, ya que la principal ventaja de una alta solubilidad es que quizá, como se mencionó, se permita una alta y rápida dispersión, es decir, una mejor difusión a la interfase agua/aire o agua/aceite (Cheftel y col., 1985). La solubilidad tiene una intensa influencia del medio donde se encuentra, como pH, temperatura, concentración de sales, interacción con diferentes componentes alimenticios. Las proteínas tienen un perfil de solubilidad mínimo a pH cercanos al punto isoeléctrico. Las variaciones en el pH modifican la ionización y la carga neta de la molécula proteica, alterando las fuerzas atractivas y repulsivas entre las proteínas y la aptitud de estas últimas a asociarse con el agua, aunque sin embargo las interacciones proteína-proteína son máximas (Borderías y Montero, 1988; Kretzschmar, 1992). De este modo, los perfiles de solubilidad están definidos en función del pH, fuerza iónica y tratamiento térmico (Cheftel y col., 1985).

2.3 Emulsión

La definición de una emulsión es la mezcla de al menos dos líquidos inmiscibles; siendo disperso uno en el otro formando finas gotitas, en un sistema de, al menos, dos fases (Terrell, 1980; Das y Kinsella, 1990). Cuando la fase grasa está en contacto con la fase acuosa hay un aumento de tensión interfacial y el proceso de emulsificación requiere considerable aumento de energía (López y col., 1995). Es necesaria la presencia de algún agente que baje esta tensión superficial estabilidad del sistema, siendo estos los emulsificantes.

2.3.1 Proteínas como emulsificantes

El papel de los emulsificantes es disminuir la energía requerida para dispersar la fase aceite en gotitas, reduciendo la tensión interfacial y formar una película (Saffle, 1968; Haque y Kinsella, 1988; Das y Kinsella, 1990). La reducción de la tensión superficial no asegura la estabilidad de la emulsión, aunque las proteínas que forman una película cohesiva alrededor de las gotas de grasa proveen una barrera que baja el gran impedimento histórico sin decrecer significativamente la tensión superficial (Haque y Kinsella, 1988). En la formación de la emulsión, las moléculas de proteína se difunden hacia la interfase aceite/agua y son adsorbidas en ella. Además, la migración de las proteínas desde la solución a la interfase es termodinámicamente favorable, ya que parte de la energía conformacional e

hidratacional de la proteína es pérdida. Una vez en la interfase, más proteínas se despliegan para extender, reorientar, reorganizar, ampliar y formar la película cohesiva continua. Los dominios hidrofóbicos se orientan hacia la fase no polar de aceite, mientras los segmentos polares se extienden en la fase acuosa. Las moléculas ocupadas 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 varían con el tipo de proteína y condiciones, tales como concentración de proteína, pH, fuerza iónica y temperatura. Hay dos teorías respecto a la estabilidad de estas películas macromoleculares: 1] debido a su viscosidad superficial y elasticidad, y 2] debido 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, rearrreglos conformacionales en la interfase, la extensión de la reducción en la tensión interfacial y la formación de una película cohesiva (Damodaran, 1994).

En orden de actuar como un emulsificador ideal, las proteínas, deben poseer un rango de propiedades: a] alta hidrofobicidad superficial, con limitada tendencia a agregación proteica; b] suficiente capacidad hidrofílica para asegurar la solubilidad en un amplio rango de pH; c] alta capacidad de adsorción y baja tensión facial o

interfacial; d] buena y balanceada distribución de dominios hidrofílicos-hidrofóbicos a través de la molécula; e] capacidad de formación de película cohesiva en la interfase aceite/agua; y, f] un alto grado de densidad de carga, de preferencia 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).

2.3.2 Capacidad de emulsión

La capacidad de emulsión es una metodología utilizada para denotar la máxima cantidad de aceite que puede ser emulsificada bajo condiciones específicas por una cantidad determinada de proteína, por unidad de peso, antes de la inversión o colapso de la emulsión (Ivey y col., 1970; Pearce y Kinsella, 1978; Stainsby 1986).

La capacidad de emulsión no solo refleja la funcionalidad de la proteína, sino también las propiedades del sistema completo, como el tipo de aceite, el equipo homogenizador, y las condiciones utilizadas (Stainsby, 1986). Algunas variables afectan la determinación de la capacidad de emulsión, donde la velocidad de la mezcladora u homogenizador es la más importante. La Figura 1 muestra el equipo utilizado en esta determinación. Cuando se introducen dos electrodos en una emulsión, la corriente eléctrica para fácilmente a través de la aceite-agua, pero difícilmente por una agua-aceite (Powrie y Tung, 1985). Durante la determinación de la capacidad de emulsión, después de la homogeneización, la conductividad de

la emulsión incrementa ya sea gradual o rápidamente dependiendo de la emulsión proteica. La actividad de la proteína depende del área en la interfase estabilizada y dispersada en glóbulos de grasa, en función del volumen de la fracción de aceite de la emulsión y de la concentración de proteína. 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. El rompimiento de la emulsión es por diferentes procesos, que incluyen cremado, floculación o coalescencia (Kato y col., 1985). La cantidad de grasa o aceite emulsificado es relativa a la velocidad de adición (Sulzbacher, 1973), y la velocidad de adición de grasa tiene efecto cuando ésta excede la capacidad del equipo mezclador (Saffle, 1968). La capacidad de emulsión depende de la solubilidad y es más sensitiva que la solubilidad a los cambios estructurales que toman lugar en las moléculas proteicas (Jiménez-Colmenero y Borderías, 1983).

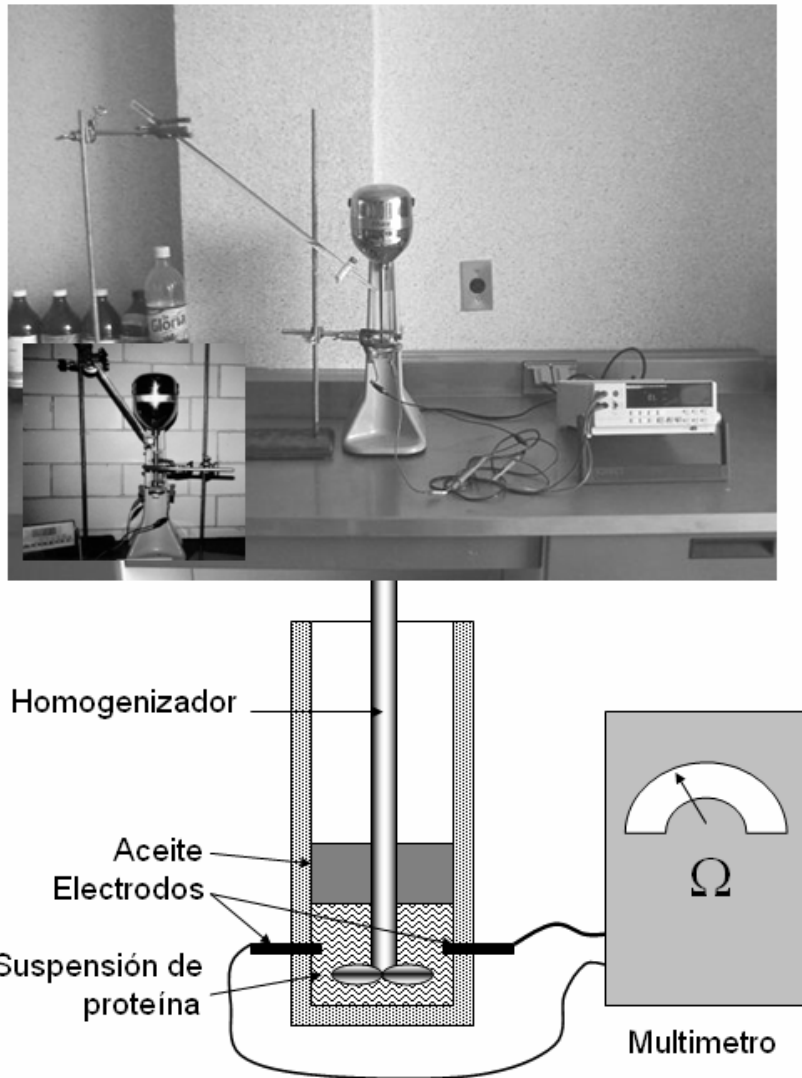


Figura 1. Equipo utilizado en la determinación de la capacidad de emulsión de proteínas.

2.4 Gelificación

Algunas suspensiones de proteína forman geles cuando se calientan arriba de su temperatura crítica por un periodo de tiempo. Un gel puede ser descrito como un estado intermedio entre una solución y un precipitado con solamente el balance correcto entre las interacciones proteína-proteína y proteína solamente (Hermansson, 1982), o como una red continua de dimensiones macroscópicas inmersa en un sistema líquido que exhibe un flujo no-estacionario (Xiong, 1994), o como una forma de materia intermedia entre un sólido y un líquido, consistente de cadenas o listones entrecruzadas para crear una red continua inmersa en un medio líquido (Tejada, 1994). El mecanismo que envuelve ésta desnaturalización iniciada por calor es la formación de una red tridimensional de proteína, posiblemente debido a la polimerización de las moléculas de proteína como una consecuencia de la condensación de los aminoácidos carboxílicos (Hickson y col., 1982). Durante el enfriamiento, los péptidos desplegados se asocian para formar la red (Pomeranz, 1991). La gelificación es entonces la formación de una red continua la cual exhibe un cierto grado de orden, a diferencia de la coagulación, que es una agregación desordenada de las proteínas (Tejada, 1994). El proceso de gelificación es usualmente irreversible si el método de desnaturalización es drástico, 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 método para hacer alimentos estructurados (Aguilera y Kinsella, 1991).

La gelificación ocurre generalmente en dos pasos, y las diferencias de la gelificación inducida por calor y el comportamiento de las proteínas está en términos de sus propiedades hidrofóbicas (Culioli y col., 1993). Los factores como el pH y la fuerza iónica contribuyen al desplegamiento y a la velocidad de gelificación, por lo que mucha de la naturaleza del gel está determinada por estos factores (Hickson y col., 1982). La desnaturalización térmica de proteínas está ordinariamente acompañada de incremento neto o libre de protones causado por cambios en los residuos ionizables del medio ambiente. La desnaturalización es manifestada por un abrupto pico en el pH de la solución proteica si no está suspendida en soluciones amortiguadoras de pH, y este pico caracterizaría la temperatura de transición térmica (Ziegler y Acton, 1984). Es importante entender y controlar el proceso de desnaturalización para obtener el gel de la estructura deseada, ya que la desnaturalización es un proceso o secuencia de pasos en el cual el arreglo espacial de las cadenas polipeptídicas dentro de las moléculas es cambiado de la típica proteína nativa un arreglo más desordenado, con varias áreas de la molécula proteica cambiando a diferentes velocidades. Esto es que no hay cambios en la estructura primaria, ya que esto no se requiere, por lo que la desnaturalización puede por lo tanto 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 hidrogeno, interacciones hidrofobicas, y enlaces iónicos, que ocurren durante la transición del estado sol a gel por la desnaturalización (Ziegler y Acton, 1984).

2.4.1 Teoría de la gelificación inducida por calor

Ferry (1948) propuso una posible interpretación de sus resultados obtenidos en la gelificación de albúmina de huevo, basándose en la consideración de un proceso de dos etapas: proteína nativa → proteína desnaturalizada → asociación en red. Este mecanismo es todavía el más aceptado teóricamente para la gelificación inducida por calor. En este mecanismo de dos pasos el paso inicial involucra un desplegamiento o disociación de las moléculas proteicas, seguido de un segundo paso de agregación, en el cual las reacciones de asociación y agregación dan como resultado la formación del gel, bajo las condiciones apropiadas. Para la formación de una matriz de gel altamente ordenada, es imperativo que el proceso de agregación proceda a una velocidad menor que el de desplegamiento (Ziegler y Acton, 1984).

2.4.1.1 Pasos involucrados en el mecanismo de la gelificación

La gelificación inducida por calor de proteínas globulares involucra cambios en el estado macroscópico del material, llamado "transición" del estado de sol (S) al estado de gel (G). Sin embargo, en la gelificación inducida por calor en estas proteínas otras transiciones ocurren en el ámbito molecular que son intrínsecas a las proteínas: desnaturalización (D) → desplegamiento (U) → agregación (A), como muestra la Figura 2. Las proteínas globulares toman una conformación sencilla en su estado nativo (N) y son transformadas al estado desnaturalizado o desplegado bajo ciertas condiciones (como el calentamiento). El alcanzar el estado de gel (G) en las proteínas globulares parece involucrar transiciones de la forma nativa al estado desplegado dentro del estado de agregación.

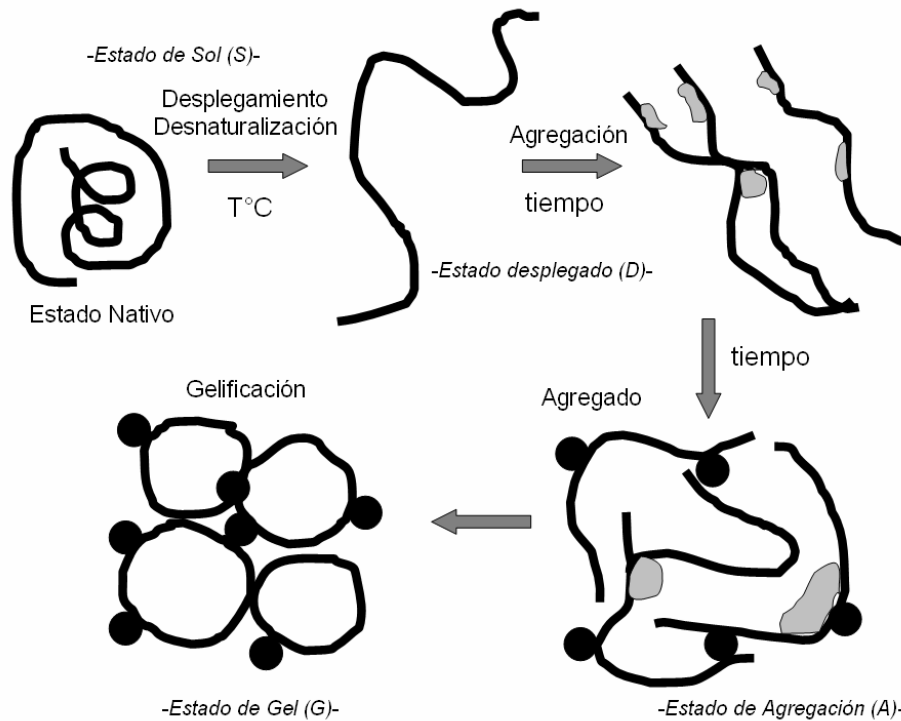


Figura 2. Pasos secuenciales en la gelificación de proteínas.

La secuencia de eventos en la gelificación por calor presenta como resultado las siguientes reacciones propuestas por Schmidt (1981) en la formación de geles inducido por calor, basado en el mecanismo de Ferry de dos pasos:

Paso I: Nativa → Desnaturalizada (Despliegamiento)

Paso II: Desnaturalizada (Despliegamiento) → Agregado

Paso III: Agregado → Sol

Paso IV: Sol → Gel

Paso I: Cuando la temperatura se incrementa, el resultado de la oposición a la temperatura dependiente de las interacciones estabilizantes entrópicas y entálpicas de la molécula proteica es el desplegamiento que ocurre es generalmente en el intervalo de 60-80°C. La desnaturalización de las proteínas es considerada como una transición intramolecular de primer orden en la cual las moléculas compactas comienzan a desplegarse en espirales al azar en la llamada temperatura de desnaturalización. Los geles inducidos térmicamente de proteínas globulares requieren cierto grado de desplegamiento de la proteína como primer paso pero no un desplegamiento total, el cual raramente ocurre por debajo de los 100°C. Una observación importante para interpretar el proceso de gelificación es que mientras el desplegamiento se lleva a cabo, la cantidad de agua unida a la proteína se incrementa (Aguilera, 1995).

Paso II: La agregación de las proteínas globulares desnaturalizadas o parcialmente desnaturalizadas en solución ha sido reconocida como una parte integral del proceso de gelificación inducida por calor (otros nombres para este paso es oligomerización o asociación). El mecanismo responsable de la formación de agregados durante y después del plegamiento no está aun claro. Debe suponerse que la agregación ocurre a través de la secuencia de reacciones de desplegamiento (unimoleculares) y asociaciones bimoleculares para dar lugar a

estructuras poliméricas ordenadas, como en el caso de proteínas nativas (Aguilera, 1995).

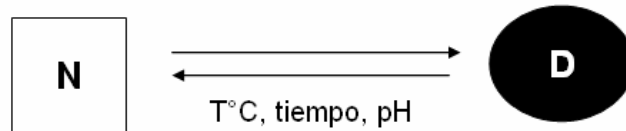
Paso III: Hay dos modelos postulados para la formación de geles de proteína globular a partir de agregados: agrupamiento al azar y la estructura de "collar de perlas". Sin embargo, no está claro si las interacciones químicas e hidrofóbicas estabilizan a los agregados mismos o al conjunto de agregados. Aparentemente, la fuerza estabilizadora primaria total se basa en las interacciones hidrofóbicas y posiblemente en las interacciones iónicas (Aguilera, 1995).

Paso IV: Un último nivel de asociación ocurre entre las hebras de la red por sí mismas. Los geles de proteína se dividen en geles físicos y geles entrelazados. Los primeros son geles fuertes, mientras los segundos están formados por el enredamiento topológico de cadenas (Aguilera, 1995).

En el proceso térmico, la temperatura de desnaturalización (T_d) es el punto en el cual la extensión de la desnaturalización es igual a 0.5 y la concentración de proteína nativa es igual a la de la desnaturalizada. Además, se supone que la proteína desnaturalizada es una transición altamente cooperativa entre dos estados, sin la presencia de intermediarios. Sin embargo, el modelo de dos estados no es aplicable para algunas proteínas como las que contienen multidominios. La presencia de dos o más dominios plegables *a priori* establece el

potencial de una molécula parcialmente desplegada. Como se muestra en la Figura 3, una molécula con dos dominios puede estar en tres estados desplegados, en vez de uno (Foegeding, 1988).

Desplegamiento para un dominio



Desplegamiento para dos dominios

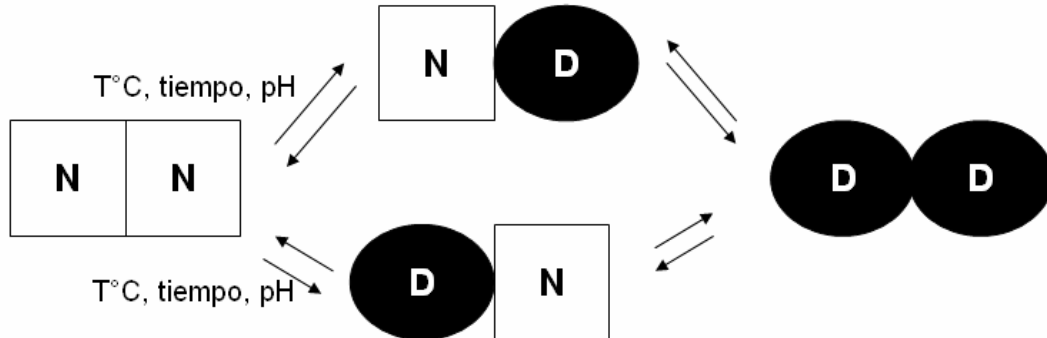


Figura 3. Proceso de desnaturalización para proteínas de uno o más dominios.

2.4.2 Fuerzas involucradas en la gelificación

La integridad física del gel es mantenida por las fuerzas balanceadas de atracción y repulsión entre las moléculas de los polímeros (Ziegler y Foegeding, 1990). El mecanismo de gelificación está determinado por el balance entre las fuerzas gobernantes de las interacciones cadena-cadena (o proteína-proteína) y cadena-solvente (o proteína-solvente) (Cheftel y col., 1985; Kinsella y col., 1994; Matsumura y Mori, 1996; Zayas, 1997). Se cree que las interacciones electrostáticas se comportan como fuerzas repulsivas durante el proceso de agregación. Ya que la carga neta al punto isoeléctrico es cero, la proteína forma fácilmente un coágulo como resultado de la rápida agregación al azar a valores de pH cercanos al punto isoeléctrico; a pH extremos las fuerzas repulsivas electrostáticas y las fuerzas de atracción (principalmente interacciones hidrofóbicas) están balanceadas para formar la red de gel. La importancia de las fuerzas repulsivas en la gelificación ha sido demostrada por el efecto de la adición de sales al medio, incluso a condiciones de pH lejos del punto isoeléctrico. La adición de sales protege el exceso de cargas de la superficie molecular y les permite el asociarse para formar una red más fina. Sin embargo, la adición de sales a pH intermedios rompe el balance entre más fuerzas de atracción y repulsión llevando a la formación de geles turbios constituidos por grandes agregados o coágulos (Matsumura y Mori, 1996). El tipo y la estabilidad del gel

son afectados significativamente por la carga neta de la proteína. La estructura cambia de un agregado a una estructura ordenada como resultado del incremento de fuerzas repulsivas entre moléculas y la supresión de la agregación al azar (Zayas, 1997). La formación de la red del gel así como de los cambios de viscosidad pueden involucrar también mecanismos dependientes de las reacciones cadena-solvente y cadena-cadena (Hermansson, 1979).

2.4.3 Factores que afectan la formación del gel

El proceso de gelificación es afectado por la concentración de proteína, el pH y la fuerza iónica. A concentraciones de proteína muy bajas, un pH lejos del punto isoeléctrico y fuerzas iónicas bajas, ningún gel es formado después del calentamiento. Cuando la fuerza iónica está a un nivel medio es posible que se forme un gel fibroso. Si la fuerza iónica se incrementa las fuerzas electrostáticas repulsivas decrecen y se forma una red de gel tridimensional por la interacción entre cadenas de proteína. A pH cercano al punto isoeléctrico y fuerzas iónicas altas, las proteínas se agregan y forman un coágulo, que interviene con la formación de una red de gel y da como resultado la formación de un gel turbio y suave, con el subsiguiente decremento de la fuerza del gel (Doi y col., 1989; Pomeranz, 1991).

Entre los factores que afectan la formación del gel están los siguientes: naturaleza de la proteína (Cheftel y col., 1985); proceso (Cheftel y col., 1985; Zayas, 1997); la concentración de proteína (Schmidt, 1981; Zayas, 1997); la composición de aminoácidos e hidrofobicidad (Zayas, 1997); y condiciones del medio, como pH, temperatura y fuerza iónica (Cheftel y col., 1985; Hermansson, 1979; Kinsella y col., 1994; Zayas, 1997). La solubilidad de las proteínas globulares es afectada por la adición de cosolventes, especialmente sales. Una molécula proteica en solución acuosa de baja fuerza iónica está rodeada con un exceso de iones de carga positiva con respecto a la carga neta de la molécula proteica. Esta ionización de la superficie de la proteína disminuye la energía libre electrostática de ésta e incrementa su solubilidad. Consecuentemente, al disminuir la fuerza iónica tiende a incrementar la solubilidad de la proteína; este efecto de 'salting-in' es independiente de la naturaleza de la sal. La solubilidad de las proteínas tiende a decrecer a altas concentraciones de sal. La magnitud de este 'salting-out' depende de la naturaleza de la sal y generalmente sigue la serie de Hofmeister. Además, La solubilidad de una proteína globular en agua generalmente se incrementa a valores de pH más allá de su punto isoeléctrico, donde el pH donde la proteína tiene carga neta de cero. Así, mientras más grande es la carga neta sobre la molécula proteica, más grande serán las repulsiones electrostáticas entre moléculas, las cuales tenderán a mantenerse en solución (Creighton, 1993).

La Figura 4 esquematiza algunas de las propuestas principales en la formación de geles por calor (Shimada y Matsushita, 1980; Foegeding y col., 1986; Damodaran, 1988; Damodaran, 1989; Oakenful y col., 1997). Una solución de proteína (sol, en estado nativo) al ser calentada empieza a desplegarse. Este desplegamiento depende en gran medida de la temperatura y velocidad de calentamiento e influenciara el tipo de gel formado (Foegeding y col., 1986). La proteína térmicamente alterada está en un estado pro-gel, donde si la temperatura de desnaturalización es sobrepasada se forma un metasol que no forma un gel al enfriarse (Damodaran, 1989; Oakenful y col., 1997). Esto puede deberse a la eliminación de enlaces disulfuro y la escisión de enlaces péptidicos involucrando residuos de aspartato a altas temperaturas (Damodaran, 1989). Al enfriarse las proteínas pueden adoptar una conformación parcialmente replegada. Este proceso del estado desplegado al replegado durante el enfriamiento tiene un papel en la formación de la red de gel. Sin embargo, este estado de replegamiento podría disminuir la disponibilidad del número de grupos funcionales para el entrecruzamiento intermolecular y no permitir la formación de una red estructurada (Damodaran, 1988; 1989). Dependiendo de las propiedades moleculares de la proteína en el estado desplegado, la solución de proteína se enturbiara si el contenido de aminoácido no polares es alto, y por agregación hidrofóbica resultara en un gel tipo coagulo. O bien, si la cantidad de estos aminoácidos está abajo del

nivel crítico, la solución de proteína permanecerá clara formando un gel transparente. La formación de una red estable depende en parte del tiempo que tiene las proteínas para asociarse durante el calentamiento (Foegeding y col., 1986) y por otro lado de las condiciones de bajo peso molecular y baja concentración de proteína (debido a la agregación de cadenas proteicas) que producirán un agregado y a condiciones de alto peso molecular y alta concentración de proteína formara un coagulo. Por otra parte, una solución transparente permanecerá en estado sol bajo condiciones de bajo peso molecular y baja concentración de proteína y formara un gel transparente cuando las condiciones al enfriarse las condiciones de alto peso molecular y alta concentración de proteína se vean favorecidas (Shimada y Matsushita, 1980).

La gelificación debe abordarse distinguiéndola de otros fenómenos similares en los cuales el grado de dispersión de una solución proteica decrece (en particular, asociación, agregación, polimerización, precipitación, floculación y coagulación). Las reacciones de asociación de proteínas conciernen a las modificaciones en sus unidades moleculares, mientras que las reacciones de polimerización o agregación implican la formación de complejos de gran tamaño. La precipitación incluye todas las reacciones de agregación condicionadas a una pérdida total o parcial de la solubilidad. La floculación se refiere a reacciones de agregación no ordenada a causa de la supresión de repulsiones electrostáticas entre cadenas.

Las reacciones de agregación no ordenada se producirán con la desnaturalización. Las reacciones de agregación o interacciones proteína-proteína que predominan a las interacciones proteína-solvente son definidas como coagulación y dan como resultado a la formación de un coágulo grueso. Cuando las moléculas desnaturalizadas se agregan para la formación de una red proteica ordenada, el fenómeno se llama gelificación (Cheftel y col, 1985). La formación de un gel tipo coágulo o un gel translúcido es relativo a la hidrofobicidad promedio y a la carga neta de la proteína. Las proteínas que contienen arriba del 31.5 mol % de ciertos residuos hidrofóbicos (valina, prolina, leucina, isoleucina fenilalanina y triptófano) forman un coágulo; aquellos que contienen abajo de este porcentaje forman geles translúcidos (Shimada y Matsushita, 1989). No es evidente, de acuerdo a Damodaran (1989), por que estos autores no incluyeron otros aminoácidos hidrofóbicos, como alanina, metionina o tirosina en los cálculos de hidrofobicidad, debido a que para predecir el tipo de gel formado, la relación de carga neta entre hidrofobicidad predice mejor el tipo de gel formado que la hidrofobicidad sola (Damodaran, 1989).

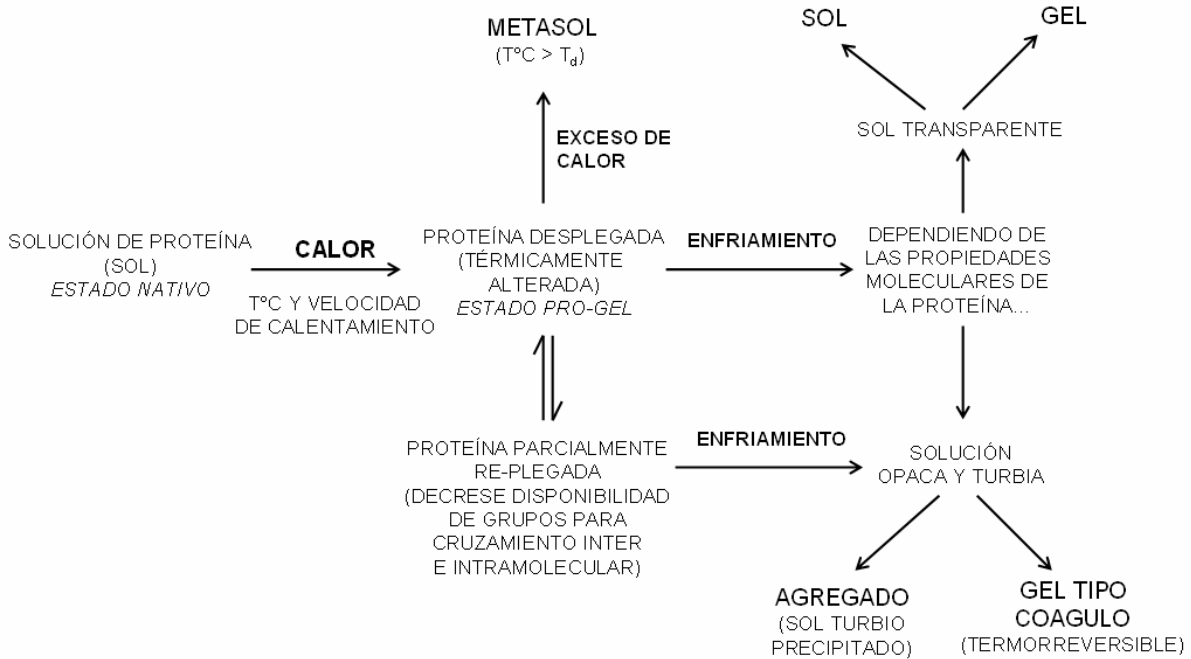


Figura 4. Factores que gobiernan la gelificación por calor de las proteínas.

2.4.4 Gelificación y Textura

La textura es un atributo resultado de la combinación de las propiedades físicas y químicas, estas incluyen el tamaño, la forma, el número, la naturaleza y el arreglo de los elementos estructurales constituyentes. Estas propiedades son el reflejo de la estructura macroscópica del material. Así, el estudio de la estructura lleva a un mejor entendimiento de las propiedades físicas y de sus características de textura (Lewis, 1987). De este modo, la textura depende en gran medida de las propiedades de gelificación de los alimentos, y el estudio objetivo de esta textura

nos permitirá entender tanto el mecanismo como los factores involucrados en la formación de los geles.

En el estudio objetivo de la textura, es decir, por métodos instrumentales, se puede dividir en tres grandes grupos (Bourne, 1978, 1982; Lewis, 1987), descritos en la Tabla 1. La estimación confiable de datos por un método objetivo es tan importante ya que en las pruebas empíricas no hay un criterio independiente para evaluar los resultados (Bagley y Christianson, 1987). Esto es, que la subjetividad a la que está sujeto el análisis sensorial de la textura depende mucho de factores relacionados con los panelistas.

Tabla 1. Métodos instrumentales para evaluar la textura de alimentos

Métodos Fundamentales

Diseñados para medir una o más propiedades bien definidas. Pueden ser descritos matemáticamente.

El esfuerzo tiene unidades de fuerza, mientras que la tensión es medida como distancia.

Métodos Imitativos

Miden parámetros que no están bien definidos y no pueden ser fácilmente expresados en términos fundamentales.

Hay poca definición de lo que se está midiendo, hay arbitrariedad en la escala y no hay un estándar absoluto.

Métodos Empíricos

Intentan simular, en cierto grado, las fuerzas y deformaciones a las que se ve sometido un alimento durante su consumo.

El más común es el Análisis del Perfil de Textura.

De acuerdo a Foegeding (1990) las principales variables consideradas en el análisis de gel es son la fuerza y la deformabilidad del gel. Además, el contenido de proteína, velocidad de calentamiento, contenido de grasa, etcétera, afectan el esfuerzo o fuerza en el rompimiento. Hay varios parámetros fundamentales evaluados en el análisis de la textura. Por ejemplo, el modulo de deformabilidad ha sido definido como la rigidez, endurecimiento, deformabilidad, tangente inicial, elasticidad aparente y modulo de elasticidad (Hermansson, 1982). Por otra parte, el termino fuerza de gel es a menudo utilizado para describir las características estructurales de textura. Esta fuerza de gel es también relacionada a la pérdida de agua o capacidad del gel de retener agua, ya que cuando una cantidad de agua es liberada y medida, la unión de agua es determinada como capacidad de retención de agua, la cual es la cantidad de agua unida por gramo de proteína (Hermansson y Lucisano, 1982). Esta fuerza de gel también es relacionada con la dureza, definida como el pico de fuerza a la máxima compresión (Lanier y col., 1982). Otros parámetros también estudiados son el modulo de Young o modulo de elasticidad, el cual no es directamente relativo a la textura del producto, ya que la determinación de las pendientes de pendientes de desplazamiento es a veces subjetiva (Ngapo y col., 1992).

La textura de geles está determinada por el mecanismo de gelificación y las condiciones del medio y formación del gel. La mezcla de estos componentes debe producir texturas diferentes a las de geles no mezclados. La medición de la textura en geles o productos alimenticios se hace principalmente a través de equipos que interpretan la fuerza necesaria para comprimir, penetrar o atravesar la muestra. Bourne (1966) hizo una clasificación de las pruebas aplicables para medir la textura, donde en general, las pruebas de presión son cualquier tipo de prueba donde se aplique presión a la muestra por cualquier medio. Incluyen, pero no se restringen a las pruebas de punción, deformación y penetración. Es importante distinguir entre estas pruebas para su correcta aplicación en la determinación de la textura.

- a) Pruebas de punción. Miden la fuerza requerida para empujar alguna clase de punzón dentro de la muestra. La prueba está caracterizada por que se utiliza algún instrumento que registre la fuerza aplicada; el punzón o vástago penetra en la muestra y la distancia de penetración es generalmente constante.
- b) Pruebas de deformación. Miden la distancia que es deformada la muestra bajo una fuerza antes de penetrarla. La fuerza puede ser aplicada por un punzón, vástago u otros medios. Esta prueba se caracteriza por que se utiliza algún instrumento que registre la fuerza aplicada; no hay penetración

del punzón o vástago en la muestra y la fuerza es mantenida constante a manera de obtener una deformación constante de la muestra.

- c) Prueba de penetración. Mide la profundidad de penetración de un vástago dentro de la muestra una fuerza determinada en un tiempo dado. Esta prueba se caracteriza por que se utiliza un equipo que registre la distancia-tiempo, de modo que mida el tiempo para alcanzar una profundidad estándar; hay penetración del punzón o vástago en la muestra y la fuerza se mantiene constante.

3 Proteínas musculares

Las proteínas de origen animal que tienen importancia funcional, son principalmente las del complejo contráctil, es decir, miosina, actina y actomiosina, llamadas proteínas miofibrilares por ser constituyentes de las miofibrillas o células musculares. Este complejo contráctil es el mayor contribuyente a la ternura de la carne. La miosina constituye aproximadamente un 55% del peso del complejo y después la actina representa otro 20%. La actomiosina es formada por la unión reversible entre actina y actomiosina durante la contracción muscular (Tarrant, 1982). El rompimiento de este enlace se vuelve irreversible después de la muerte del animal debido al agotamiento del adenosin trifosfato (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 en los mamíferos (Bailey, 1982). Las proteínas musculares pueden ser divididas dentro de tres grupos, dependiendo de su solubilidad: proteínas sarcoplasmáticas [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, al menos a bajas temperaturas] (Schut, 1976). La importancia de esta clasificación recae en la necesidad de solubilizar a las proteínas de importancia funcional, es decir, miofibrilares principalmente. La Figura 5 esquematiza la estructura muscular indicando la ubicación de las diferentes partes estructurales de la miofibrilla y del tejido conectivo.

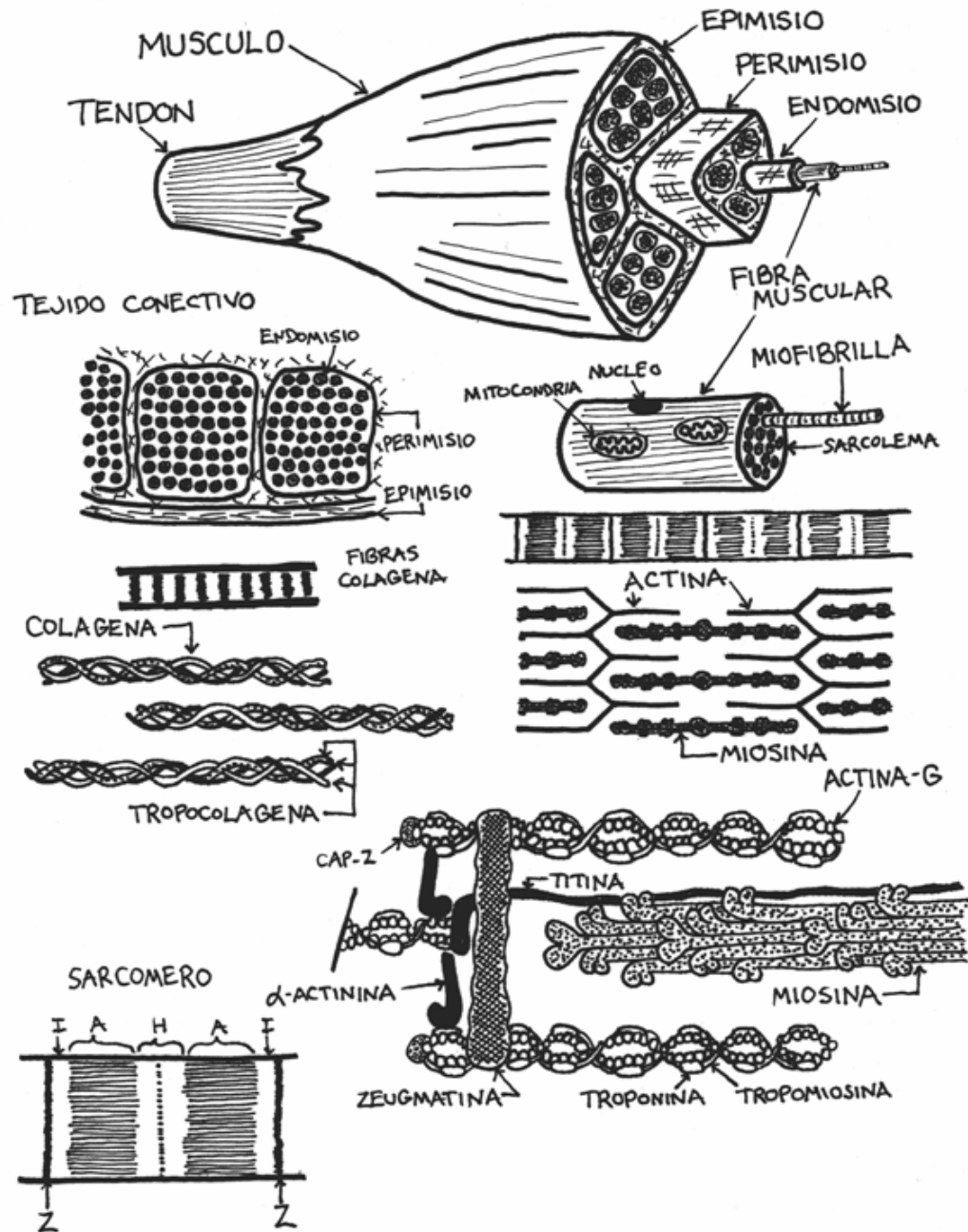


Figura 5. Estructura y organización de los componentes musculares.

En productos emulsionados estas proteínas cárnicas, específicamente las proteínas solubles en sales o miofibrilares, actúan como agente emulsificantes y están disueltas en la fase acuosa, cubriendo la superficie de las partículas de grasa en el sistema. Las proteínas miofibrilares solubles tienen las más eficientes propiedades emulsificantes y ayudan a estabilizar la emulsión que las sarcoplásmicas (Kijowsky y Niewiarowicz, 1978; Jiménez-Colmenero y Borderías. 1983; Chen y Ockerman. 1995). 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, tipo de sacrificio, *post-mortem*, tratamiento de la carne, valor de pH, entre otros (López y col., 1995; Totosaus y col., 2000; Gracia-Arcos y col., 2002; Franco-Macias y Totosaus, 2002). Las proteínas miofibrilares son sin duda los emulsificantes primarios en los productos cárnicos (Gillet y col., 1977), y la determinación de sus propiedades de emulsificación permitirá el manejo adecuado en la mejora o desarrollo de productos procesados (Totosaus y col., 1998; Totosaus y col., 2000).

3.1 Propiedades funcionales de las proteínas musculares

Las propiedades funcionales que están implicadas en la estabilidad del sistema son debido a interacciones proteína-agua, asociaciones lípido-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; Whiting, 1988). La Tabla 2 muestra las principales propiedades funcionales de las proteínas cárnicas tanto en la carne como en productos procesados. Las proteínas miofibrilares (actomiosina, actina, miosina) son importantes para mantener las propiedades de cohesión de la carne procesada para productos cárnicos (Martone y col., 1986). Son responsables también de las capacidades de unión de agua y grasas, y de la estabilidad de la emulsión, según se había mencionado anteriormente, y como la mayoría de las carnes usadas en productos cárnicos procesadas están en estado post-rigor, y así influenciadas por el proceso de rigor-mortis (Dudziak y Foegeding, 1988). Modificaciones a las proteínas pueden mejorar su funcionalidad, como la glicosilación (unión de glucosa vía reacciones controladas de Maillard) de proteínas miofibrilares de corazón de res y cerdo para su incorporación a batidos cárnicos (Totosaus, 2004). La calidad de los productos cárnicos está definida por las propiedades funcionales de las proteínas musculares. Estas propiedades, relacionadas a la tecnología del proceso dependen de las características moleculares de las proteínas y pueden estar influenciadas por los parámetros de proceso y condiciones del ambiente (Kretschmar, 1992), es decir, esto se verá reflejado en las características de productos procesados (Totosaus, 2002; Guerrero y Totosaus, 2006). El

entendimiento de las propiedades funcionales de las proteínas de la carne es requerido para lograr utilizar fuentes de carne más baratas, introducir nuevos productos, utilizar fuentes de proteína no tradicionales, mejorar los productos existentes, y así predecir su funcionalidad (Smith, 1988).

Tabla 2. Propiedades funcionales atribuidas a proteínas en la carne y sistemas
 cárnicos (Morrissey y col., 1986)

| Propiedad general | Propiedad funcional | Modo de acción |
|-------------------|---------------------------|--|
| Hidratación | Unión y Adsorción de agua | Entrampamiento de agua, agua unida vía puentes de hidrogeno |
| | Solubilidad | Solvatación |
| | Viscosidad | Inmovilización de agua, engrosamiento de la miofibrilla, entrampamiento de agua vía formación de una matriz proteica |
| | Hinchamiento | Entrampamiento de agua vía formación de una matriz proteica |
| | Gelificación | Proteína solubilizada que actúa como material adhesivo |
| Estructural | Cohesión-adhesión | Formación de una matriz proteica vía interacciones electrostáticas, disulfuro e hidrofobicas en el gel |
| | Elasticidad | Unión de grasa libre |
| Unión | Absorción de grasa | Adsorción, entrampamiento y liberación de sabores |
| | Unión de sabores | Formación y estabilización de emulsiones |
| Superficie | Emulsificación | |

3.1.1 Solubilidad de proteínas musculares

La solubilidad proteica tiene importancia en la definición de los atributos funcionales de las proteínas (Kretzschmar, 1992). Aunque según Li-Chan y col. (1984), la solubilidad por si misma no es un buen parámetro para predecir las propiedades de emulsificación u otras propiedades funcionales, pero tiene una alta correlación con las propiedades de emulsificación e hidrofobicidad. Una de las fases esenciales del proceso de gelificación es la etapa de disociación-solubilización de las proteínas miofibrilares, realizado por la adición de sales (Lamballiere y col., 1993). La sal o cloruro de sodio añadido a la formulación en un porcentaje del 2 al 3% equivaldría a una molaridad de entre 0.4-0.6, molaridad suficiente para solubilizar a las proteínas miofibrilares, responsables de la posterior funcionalidad del sistema (Totosaus 2002, Totosaus y Guerrero, 2006).

3.1.2 Batido o emulsión cárnica

El término batido cárnico es utilizado en vez de emulsión, debido a varios factores como el tamaño de partícula de la fase dispersa del sistema y la presencia de varios componentes sobre todo del músculo. Las proteínas musculares tienen el importante papel de actuar como emulsificantes y gelificantes en los productos cárnicos. Las capacidades de emulsión de grasa y de estabilidad de emulsión son las propiedades tecnológicas requeridas de la carne, ya que las proteínas del

músculo se liberan en el curso del picado y salado en la elaboración de productos cárnicos emulsionados (Kijowsky y Niewiarowicz, 1978). La dispersión debe ser hecha con una cantidad dada de fuerza, y se requiere de agente emulsificante para dar estabilidad a la emulsión. En las emulsiones cárnicas la fase dispersa o discontinua es la grasa y sustancias insolubles, y la fase-continua es el agua que contiene varios componentes solubles (como son las proteínas miofibrilares y la sal), formando un sistema multifásico (Schut, 1976). En la emulsión cárnica, el total de las proteínas disponibles no son generalmente utilizadas (Saffle, 1968), ya que durante la emulsificación aproximadamente solo el 84% de la proteína original en solución participa en este proceso (Sulzbacher, 1973). Por otra parte, una emulsión cárnica puede ser considerada además 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 interfacial juega un rol mayor en la estabilización y los glóbulos de grasa siempre permanecen globulares en estado de suspensión (Lee y col., 1981, Schmidt y col., 1981; Lan y col., 1995). En general, hay una buena correlación entre la solubilidad y las propiedades de emulsificación de extractos de carne (Lacroix y Castaigne, 1984).

3.1.3 Gelificación de proteínas musculares

Los cambios en la textura y jugosidad de la carne son debidos a la desnaturalización térmica y la subsiguiente asociación de las proteínas, lo cual enfatiza la importancia crítica de estas reacciones en la química de los alimentos musculares (Foegeding, 1988). Para que el gel sea formado es necesario que la microestructura del músculo intacto sea desintegrada, operación parcialmente sucede durante el picado en la formación de embutidos, a fin de liberar la proteína miofibrilar (Tejada, 1994). La gelificación de las proteínas miofibrilares es quizá la propiedad funcional más importante que ocurre 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), ya que la gelificación de proteínas es crítica en la formación de la textura deseada en algunos alimentos, como carnes y pescado estructuradas. En estos alimentos es típico que la gelificación de las proteínas produzca varios niveles de dureza, cohesividad, elasticidad, masticabilidad, etcétera. La gelificación de proteínas musculares también puede ser inducida por otros medios, como la acidez (Totosaus y col., 2000) o las altas presiones (Hugas y col., 2002).

El resultado final de la agregación y desplegamiento inducido por calor de las proteínas musculares es una matriz con propiedades de textura y capacidad de

retención de agua, dependiendo de factores como la cantidad de proteína extraíble, la solubilidad proteica, los isomorfos de proteína, el pH y la fuerza iónica. La funcionalidad de la carne es derivada de cada uno de los anteriores parámetros, además 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. En las proteínas esqueléticas musculares, las proteínas solubles en soluciones salinas o miofibrilares contribuyen a la formación de geles de proteína muscular y a la funcionalidad (Nuckles y col., 1991). La gelificación de las proteínas no debe considerarse como la simple suma de las propiedades de gelificación de los componentes proteicos individuales, ya que la fuerza del gel total está determinada no solo por la relativa contribución de varias fracciones proteicas, si no también por interacciones las cuales están influenciadas por concentraciones (Lan y col., 1995).

Sin embargo, ya que los geles son sistemas multicomponentes, el modelo clásico de dos estados no es tan adecuado para algunas proteínas, ya que los multidominios se distinguen por tener más de un dominio plegado, ejemplos de estos son la colágena, miosina, tropomiosina y troponina. La presencia de dos o más dominios plegados *a priori* establece el potencial de una molécula parcialmente desplegada (Foegeding, 1988). Para una gran molécula que tiene

varios subunidades o dominios, la transformación de la estructura nativa a una red-gel altamente entrecruzada es muy compleja. Entonces, después del calentamiento, un complejo proteico como miosina pasa por 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, diferentes fuerzas de gel pueden ser producidas para desarrollar un gel con un alto grado de elasticidad en debido a la desnaturalización de las moléculas proteicas y se orientación para interactuar en puntos específicos, esto es, formando una red tridimensional estructurada (Xiong, 1994).

3.2 Factores que afectan la funcional de la carne

A grandes rasgos, 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, sexo del animal, edad, etcétera. Otros factores importantes son las condiciones de almacenamiento, donde el proceso de conservación que causa más daños físicos y bioquímicos en el congelamiento.

3.2.1 Efecto del congelamiento

Durante el periodo de almacenamiento de la carne, ya sea para su maduración o conservación hasta su consumo, existen importantes cambios en los componentes estructurales del músculo, como lo son las proteínas y los lípidos. Las industrias cárnicas y los almacenes frigoríficos conservan carnes refrigeradas y congeladas. El tiempo de conservación de estas es limitado porque, aún siendo de excelente calidad y ser obtenidas en las mejores condiciones sanitarias, solo se conservan durante cuatro o cinco semanas siempre que su temperatura esté alrededor de los -1.5 a 0 °C y la humedad relativa sea del 90%. No se conservan más de tres semanas si en los procesos de sacrificio y despiece no se han seguido estrictas normas de higiene. Además, el congelamiento y el almacenamiento congelado pueden producir profundos efectos en las propiedades estructurales y químicas de los músculos, incluyendo cambios en las fibras musculares, lípidos y proteínas, todo esto afectando el potencial en 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, 1985). El almacenamiento a -20°C influencia la capacidad de retención de agua, pero no afecta la capacidad de unir grasa en cerdo (Honkavaara, 1995). Las proteínas miofibrilares de carne congelada parecen tener una pérdida de algunas de sus habilidades emulsificantes (Gillet y

col., 1977). De manera general, mientras más baja sea la temperatura de almacenamiento, menor será la deterioración del tejido (Carroll y col., 1981). El almacenamiento congelado tuvo efecto significativo en la gelificación de geles de proteína muscular de res y cabra, donde a menores temperaturas la fuerza del gel se incrementó (Totosaus y col., 2001).

La desnaturalización de las proteínas musculares tiene un papel muy importante en los cambios de calidad de los productos congelados. Las proteínas miofibrilares se vuelven insolubles durante el congelamiento, ya que estas sufren una serie de cambios estructurales durante el almacenamiento congelado. Uno de los cambios más notables es la fusión de las miofibrillas y la fragmentación de estas debido a la formación de cristales de hielo en el interior de las células (Matsumoto, 1980). Aunque las células musculares o miofibrillas sean flexibles y largas, al estar alineadas una contra otra el espacio entre estas es mínimo (ver Figura 5), por lo que el congelamiento puede causar daños a la estructura celular los cuales se verán reflejados en pérdidas por goteo al descongelar (Pérez-Chabela y Mateo-Oyagüe, 2004).

Al parecer, la agregación de intramolecular de las cadenas de proteína cambia la conformación de las mismas durante el congelamiento. Esta asociación es causada por la deshidratación de las moléculas proteicas como resultado del desplazamiento de las moléculas de agua de sitios hidratados y cambios en el

área que rodea a la proteína. Las cadenas polipeptídicas se juntan unas con otras con una alta probabilidad de formar entre-cruzamientos intermoleculares en los sitios disponibles. Las moléculas de agua se mueven para disminuir la presión de vapor, formando cristales de hielo. Cuando el sistema es descongelado, las moléculas de agua se funden y regresan a la vecindad de las proteínas. Sin embargo, la rehidratación de las proteínas es incompleta, ya que la afinidad proteína-agua es igual o menor que la proteína-proteína (Matsumoto, 1980) (Figura 6).

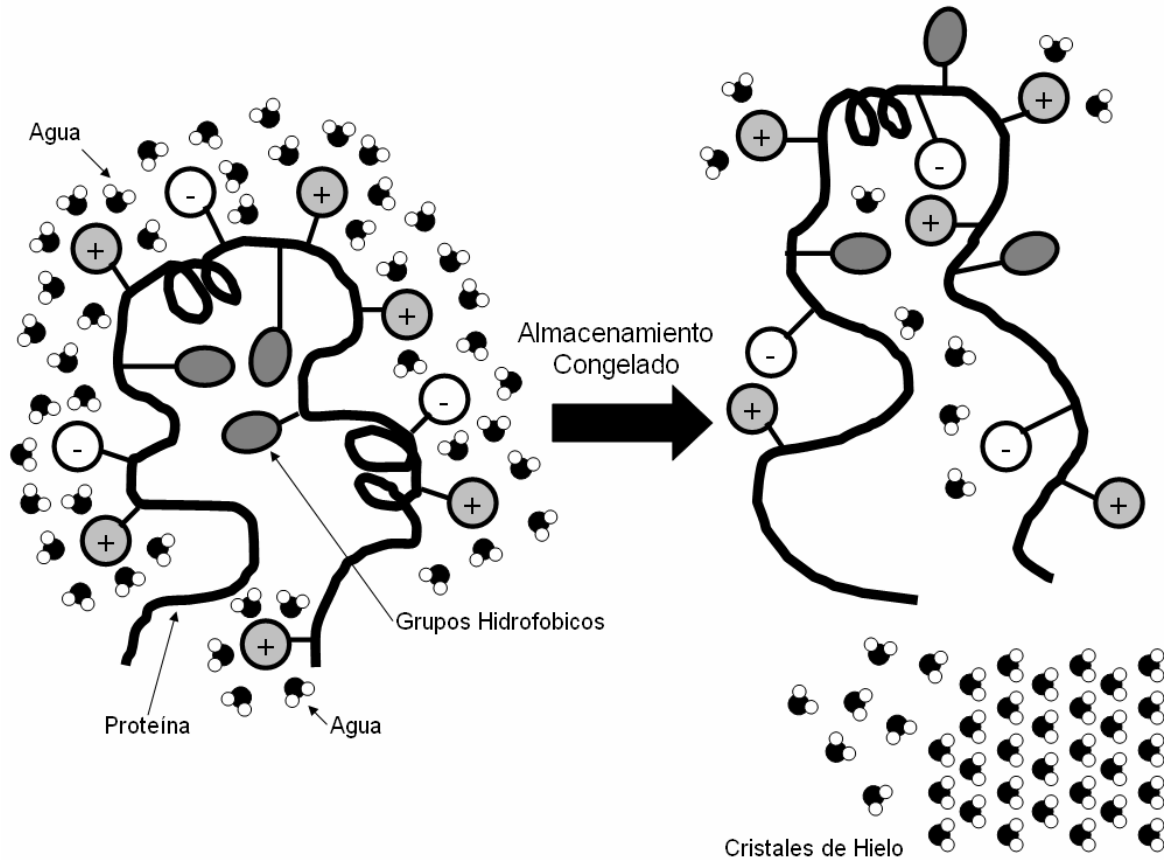


Figura 6. Deshidratación de proteínas por el desplazamiento del agua durante el congelamiento (Adaptada de Matsumoto, 1980).

Los principales cambios en la funcionalidad asociados con el congelamiento y el subsiguiente almacenamiento a temperaturas de congelación se ven reflejados en un deterioro de la textura, sabor y color, resultado de los cambios bioquímicos y

enzimáticos sobre las proteínas. La desnaturalización producida por el congelamiento, la inactivación de enzimas y las pérdidas en la funcionalidad son comúnmente observadas en las carnes y productos cárnicos congelados. La desnaturalización de las proteínas durante este proceso y su almacenamiento pueden ser monitoreadas midiendo alteraciones en la hidrofobicidad superficial de las proteínas, composición de aminoácidos, estabilidad conformacional, solubilidad, agregación y actividad enzimática. Estas pérdidas en las propiedades funcionales son evaluadas comparando las capacidades de retención de agua, viscosidad, gelificación y emulsificación. La adición de compuestos crioprotectores (como azúcares, sorbitol o polioles) y antioxidantes deben ser incorporados a este tipo de alimentos antes de congelar para minimizar los cambios fisicoquímicos en las proteínas y prevenir la disminución de su funcionalidad (Xiong, 1997). Los principales cambios asociados a la calidad de carne y productos cárnicos congelados están listados en la Tabla 3.

Tabla 3. Cambios ocasionados durante el almacenamiento congelado de carne y productos cárnicos empacados (Totosaus, 2004)

| | |
|---------------------------|---|
| Quemadura por frío | Causada por la sublimación de cristales de hielo que aparecen en la superficie de la carne durante el almacenamiento |
| Migración de humedad | Pérdida de humedad por sublimación, absorción o redistribución del agua debido a la recristalización del hielo o goteo de secciones descongeladas |
| Pérdidas por goteo | Formación de grandes agregados proteicos que desplazan el agua y no pueden volver a rehidratarse, liberando agua por goteo |
| Ruptura por congelamiento | Rompimiento del tejido o producto por la formación de grandes cristales de hielo durante el congelamiento y descongelamiento |
| Actividad enzimática | Desnaturalización de proteínas debido a la actividad enzimática residual a temperaturas de congelación |

4 Conclusiones

En el proceso de alimentos con un alto valor nutricional produce cambios en las proteínas, los cuales resultan en las características texturales y de sabor de cada uno. En alimentos de origen muscular la funcionalidad de estas proteínas es la que ha definido y definirá las propiedades de los productos cárnicos elaborados con el fin de conservar por más tiempo la carne. El entendimiento de la funcionalidad y de cómo las condiciones del sistema cárnico (esto es, temperaturas de proceso, presencia de sales además del sodio, pH y los métodos de conservación) nos ayudaran a mejorar los productos existentes, además de ampliar el horizonte en el desarrollo de nuevos productos cárnicos.

5 Referencias

- Aguilera J. M. (1995). Gelation of whey proteins. *Food Technology* **49** (9): 83-86, 88-89.
- Aguilera J. M. & J. E. Kinsella (1991). Compression strength of dairy gels and microstructural interpretation. *Journal of Food Science* **56**: 1224-1228.
- Bagley E. B. & D. D. Christianson (1987). Measurement and interpretation of rheological properties of foods. *Food Technology* **41** (3): 96-99.
- Bailey A. I. (1982). Muscle proteins and muscle structure. Capitulo 13 en *Food Proteins*. P. F. Fox & J. J. Condon, editores. Applied Science Publishers, London, pp. 245-259.

-
- Borderías A. J. & P. Montero (1988). Fundamentos de la funcionalidad de las proteínas en alimentos. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos* **28**: 159-169.
- Bourne M. C. (1966). Measure of shear and compression components of puncture tests. *Journal of Food Science* **31**: 282-291
- Bourne M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology* **32** (6): 62-67.
- Bourne M. C. (1982). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Press, San Diego, pp. 44-117.
- Calzada J. F. & M. Peleg (1978). Mechanical interpretation of compressive stress-strain relationship of solid foods. *Journal of Food Science* **43**: 1087-1092.
- Carballo J. S. Cofrades, M. Careche & F. Jiménez-Colmenero (1992). Functional and physical-chemical parameters of actomyosin from pork muscle of different characteristics. *Proceeding of the 38th International Congress on Meat Science and Technology*, Clermont-Ferrand, Francia.
- Carroll R. J., J. R. Cavanaugh & F. P. Rorer (1981). Effects of frozen storage on the ultrastructure of bovine muscle. *Journal of Food Science* **46**: 1091-1094, 1102.
- Cheftel J. C., J. L. Cuq & D. Lorient (1985). *Protéines Alimentaires*. Techniques et Documentation Lavoisier, Paris, pp. 58-65.

- Chen P. H. & H. W. Ockerman (1995). Emulsion products. *Meat Focus International* **4** (6): 235-237.
- Creighton T. E. (1993). *Proteins*. 2nd edition, W. H. Freeman & Co., New York, pp. 18-19, 156, 190.
- Culioli J., C. Boyer, X. Vignon & A. Ouali (1993). Propriétés thermogélificantes de la myosine: influence du degré de purification et du type musculaire. *Science des Aliments* **13** (2): 249-260.
- Damodaran S. (1988). Refolding of thermally unfolded soy protein during the cooling regime of the gelation process: effect on gelation. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **36**: 262-269.
- Damodaran S. (1989). Interrelationship of molecular and functional properties of food proteins. En *Food Proteins*. J. E. Kinsella & W. G. Soucie, editores. American Oil Chemical Society, Champaign, pp. 21-51.
- Damodaran S. (1994). Structure-function relationship of food proteins. En *Protein Functionality in Food Systems*. N. S. Hettiarachchy & G. R. Ziegler, editores. Marcel Dekker, Nueva York, pp. 1-37.
- Das K. P. & J. E. Kinsella (1990). Stability of food emulsions: physicochemical role of protein and non protein emulsifiers. *Advances in Food and Nutrition Research* **34**: 81-129.

-
- Doi E., N. Kitabate, H. Hatta & T. Koseki (1989). Relationship of -SH groups to functionality of ovoalbumin. En *Food Proteins*. J.E. Kinsella & W.G. Soucie, editores. American Oil Chemical Society, Champaign, pp. 252-266.
- Dudziak J. A. & E. A. Foeding (1988). Isolation of actomyosin and myosin from post-rigor turkey breast and thigh. *Journal of Food Science* **53**: 1287-1289, 1339.
- Ferry J. D. (1948). Proteins Gels. *Advances in Protein Science* **4**: 1-76.
- Fizman S. M., E. Costell & L. Duran (1983). Medida del comportamiento reológico de los alimentos sólidos. II. Métodos fundamentales. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos* **23**: 303-309.
- Foegeding E. A. (1988). Thermally induced changes in muscle proteins. *Food Technology* **42**(6): 58, 60-62, 64.
- Foegeding E. A. (1990). Development of a test to predict gelation properties of raw turkey muscle proteins. *Journal of Food Science* **53**: 932-936, 941.
- Foegeding E. A., W. R. Dayton & C. E. Allen (1986). Interactions of myosin-albumin and myosin-fibrinogen to form protein gels. *Journal of Food Science* **51**: 109-112.
- Franco Macias I. & A. Totosaus (2002). Propiedades funcionales de músculo blanco & rojo de pollos alimentados con metionina de cromo. *Tecnología de Alimentos* **35**: 12-15.

- García-Arcos G., A. Totosaus, I. Guerrero & M. L. Pérez-Chabela (2002). Physicochemical, sensory, functional and microbial characterisation of horse meat. *Revista Brasileira de Agrociências* **8**: 43-46.
- Gillett T. A., D. E. Meiburg, G. L. Brown & S. Simon (1977). Parameter affecting meat protein extraction and interpretation of model system data for meat emulsion formation. *Journal of Food Science* **42**: 1606-1610.
- Haque Z. & J. E. Kinsella (1988). Emulsifying properties of food proteins: bovine serum albumin. *Journal of Food Science* **53**: 416-420.
- Hermansson A. (1982). Gel characteristics- structure as related to texture and water binding of blood plasma gels. *Journal of Food Science* **47**: 1965-1972.
- Hermansson A. M. (1979). Aggregation and denaturation involved in gel formation. En *Functionality and Protein Structure*. A. Pour-Ei, editor. American Chemical Society Symposium Series 92, Washington DC., pp. 81-104.
- Hermansson A. & M. Lucisano (1982). Gel characteristics- water binding of blood plasma gels and methodological aspects on the water binding of gel systems. *Journal of Food Science* **47**: 1955-1959, 1964.
- Hickson D. W., C. W. Dill, R. G. Morgan, V. E. Sweat, D.A. Suter & Z. L. Carpenter (1982). Rheological properties of two heat-induced proteins gels. *Journal of Food Science* **47**: 783-785, 791.

-
- Honkavaara M. (1995). Effects of freezing time on fat and water holding capacity in pork. *Proceeding of the 41th International Congress on Meat Science and Technology*, San Antonio, USA.
- Hugas, M., M. Garriga & J. M. Monfort (2002). New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology. *Meat Science* **62**: 359-371.
- Ivey P. J., N. B. Webb & V. A. Jones (1970). Effects of disperse phase droplets size and interfacial film thickness on the emulsifying capacity and stability of meat. *Food Technology* **24**(11): 1279-1311.
- Jiménez-Colmenero F. & A. J. Borderías (1983). A study of the effects of frozen storage on certain functional properties of meat and fish proteins. *Journal of Food Technology* **18**: 731-737.
- Kato A., T. Fujishige, N. Matsudomi & K. Kobayashi (1985). Determination of emulsifying properties of some proteins by conductivity measurement. *Journal of Food Science* **50**: 56-58. 62.
- Kijowski J. & A Niewiarowicz (1978). Emulsifying properties of proteins and meat from broiler breast muscle as affected by their initial pH values. *Journal of Food Technology* **13**: 451-459.
- Kinsella J. E. (1976). Functional properties of proteins in foods: A survey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **7**: 219-254.

- Kinsella J. E. (1982). Relationship between structure and functional properties of food proteins. En *Food Proteins*, P. F. Fox & J. J. Condon, editores. Applied Science, London, pp. 51-103.
- Kinsella J. E., D. J. Rector & L. G. Phillips (1994). Physicochemical properties of proteins: texturization via gelation, glass and film formation. En *Protein Structure-Function Relationship in Foods*. R. Y. Yada, R. L. Rector & J. L. Smith, editores. Blackie Academic Press, Cambridge, pp. 1-21.
- Kretschmar U. (1992). Funktionelle eigenschaften von muskel proteinen. *Fleischwirtschaft* **72**: 905-911.
- Lacroix C. & F. Castaigne (1984). Emulsification des viandes. *Sciences des Aliments* **4**: 502-521.
- Lamballiere M., F. Chraiti, J. Culioli & A. Ovali (1993). Gélification de protéines myofibrillaires bovines. *Sciences des Aliments* **13**: 237-247.
- Lan Y. H., J. Novakofsk, R. H. Mccusker, M. S. Brewer, T.R. Carr & F. K. McKeith (1995). Thermal gelation properties of proteins fractions from pork and chicken breast muscles. *Journal of Food Science* **60**: 742-747, 752.
- Lanier T. C., T. S. Lin, Y. M. Liu & D. D. Hamann (1982). Heat gelation properties of actomyosin and surimi prepared from Atlantic croacker. *Journal of Food Science* **47**: 1921-1925.

-
- Lee C. M., R.J. Carroll & A. Abdollahi (1981). A microscopical study of the structure of meat emulsions and its relationship to thermal stability. *Journal of Food Science* **46**: 1789-1793, 1804.
- Lewis M. J. (1987). *Physical Properties of Foods and Food Processing Systems*. Ellis Horwood Ltd., Chichester, pp. 137-145.
- Li-Chan E., S. Nakai & D. F. Wood (1984). Hydrophobicity and solubility of meat proteins and their relationship to emulsifying properties. *Journal of Food Science* **49**: 345-350.
- López C., A. Obaya & R. Mendez (1995). Estudio de la implantación de la grasa de bovino (sebo) para la elaboración de una emulsión cárnica (salchicha tipo Viena). *Tecnología de Alimentos* **30**: 11-18.
- Martone C. B., L. Busconi, E. J. Folco, R. E. Trucco & J. J. Sanchez (1986). A simplified myosin preparation from marine fish species. *Journal of Food Science* **51**: 1554-1555.
- Matsumoto J. J. (1980). Chemical deterioration of muscle proteins during frozen storage. En *Chemical Deterioration of Proteins*. J. R. Whitaker & M. Fujimaki, editores. American Chemical Society Symposium Series 123, Washington DC, pp. 95-124.

- Matsumura Y. & T. Mori (1996). Gelation. Capitulo 4 en *Methods for Testing Protein Functionality*. G. M. Hall, editor. Blackie Academic & Professional, London, pp. 76-109.
- Miller A. J., A Ockerman & S. A Palumbo (1980). Effects of frozen storage on functionality of meat processing. *Journal of Food Science* **45**:1466-1470.
- Morrisey P. A., D. M. Mulvihill & E. M. O'Neil (1986). Functional properties of muscle proteins. En *Developments in Food Proteins -5*. B. F. J. Hudson, editor. Elsevier Applied Science, London, pp. 195-2467
- Ngapo T., B. Wilkinson, R. Chong & D. Haisman (1992). Gelation of Bovine myofibrillar protein induced by 1,5-gluconolactone. *Proceedings of the 38th International Congress on Meat Science and Technology*, Clermont-Ferrand, Francia.
- Nuckles R. O., D. M. Smith, R. A. Merkel (1991). Properties of heat-induced gels from beef skeletal, heart, lung and spleen protein fractions. *Journal of Food Science* **56**: 1165-1170.
- Oakenful D., J. Pearce & R.W. Burley (1997). Protein gelation. En *Food Proteins and their Application*. S. Damodaran & A. Paraf, editores. Marcel Dekker, Nueva York, pp. 111-142.

-
- Pearce K. N. & J. E. Kinsella (1978). Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **26**: 716-723.
- Pérez-Chabela M. L. & J. Mateo-Oyagüe (2004). Frozen meat: quality and shelf life. En *Handbook of Frozen Foods*. Y. H. HUI, P. Cornillon, I. Guerrero Legareta, K. D. Murel & W.-K. Nip, editores. Marcel Dekker, Nueva York, pp. 201-214.
- Pomeranz Y. (1991). *Functional Properties of Food Components*. 2nd edition, Academic Press, San Diego, pp. 155-165.
- Pour-El A. (1981). Protein functionality: Classification, definition and methodology. En *Protein Functionality in Foods*. J. P Cherry, editor. American Chemical Society Symposium Series 147, Washington DC., pp. 1-20.
- Powrie W. P. & M. A. Tung (1985). Dispersiones alimenticias. En *Introducción a la Ciencia de los Alimentos*. O. R. Fennema, editor. Editorial Reverte, Barcelona, pp. 629-672.
- Rodríguez F. J. (1985). Algunas propiedades funcionales de las proteínas en alimentos y los métodos para su evaluación. *Industria Alimentaria* **7**: 4-7, 19.
- Saffle R. L. (1968). Meat Emulsion. *Advances in Food Research* **16**: 105-160.
- Schmidt G. R., R. F. Mawson & D. G. Siegel (1981). Functionality of a protein matrix in comminuted meat products. *Food Technology* **35**(5): 235-237, 252.

- Schmidt R. H. (1981). Gelation and coagulation. En *Protein Functionality of Foods*. J. P. Cherry, editor. American Chemical Society Symposium Series 147, Washington DC., pp. 131-148.
- Schut J. (1976). Meat emulsions. En *Food Emulsions*. S. Fridberg, editor. Marcel Dekker, Nueva York.
- Shimada K. & S. Matsushita (1989). Relationship between thermocoagulation and amino acid composition. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **28**: 413-417.
- Smith D. M. (1988). Meat proteins: functional properties in comminuted meat products. *Food Technology* **42**(5): 116-121.
- Stainsby G. (1986). Foaming and emulsification. En *Functional Properties of Food Macromolecules*. J. R. Mitchell & D. A. Ledward, editores. Elsevier Applied Science, London, pp. 315-353.
- Sulzbacher W. L. (1973). Meat emulsions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **24**: 589-595.
- Tarrant P. V. (1982). Muscle proteins in meat technology. En *Foods Proteins*. P. F. Fox & J. J. Condon, editores. Applied Science Publishers, London, pp. 261-291.
- Tejada M. (1994). Gelation of myofibrillar fish proteins. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos* **34**: 257-273.

-
- Terrell R. (1980). What's going on inside that casing? *Meat Industry* **21**(10): 56-57.
- Totosaus A. (2002). Productos cárnicos emulsionados bajos en grasa y sodio. *Memorias del Coloquio Internacional de Ciencia y Tecnología de la Carne y Productos Cárnicos*, Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo. México, pp. 100-119.
- Totosaus A. (2004). Frozen meats: packaging and quality control. En *Handbook of Frozen Foods*. Y. H. HUI, P. Cornillon, I. Guerrero Legareta, K. D. Murel & W.-K. Nip, editores. Marcel Dekker, Nueva York, pp. 227-237.
- Totosaus A. (2004). Functionality of glycosilated heart surimi and heat-precipitated whey proteins in meat batters. *Journal of Muscle Foods* **15**: 256-268.
- Totosaus A. & I. Guerrero (2000). Fuentes alternativas de proteína. En *Mensaje Bioquímico*, Vol. 24. F. Martínez Montes, M. A. Juárez Oropeza, J. P. Pardo Vázquez & S. Morales López, editores. Departamento de Bioquímica, Facultad de Medicina, UNAM, México, pp. 89-103.
- Totosaus A., I. Guerrero & J. G. Montejano, 2001. Effect of temperature and storage time on chevon and beef protein gels. *Journal of Food Science and Technology* **38**: 487-488.

- Totosaus A., N. F. S. Gault & I. Guerrero (2000). Dynamic rheological behaviour of meat proteins during acid-induced gelation. *International Journal of Food Properties* **3**: 465-472.
- Totosaus A., P. Lara & I. Guerrero (1998). Functionality of goat meat proteins. En *Functional Properties of Food Proteins and Lipids*, J. R. Withaker, F. Shahidi, A. Lopez Munguia, R.Y. Yada & G. Fuller, editores. ACS Symposium Series 708, American Chemical Society, Washington DC, pp. 218-227.
- Totosaus A., R. García-Barrientos, M. L. Pérez-Chabela, F. Mijangos, R. M. Cruz-Hernández & I Guerrero (2000). Beef, horse and goat meat quality: calorimetry, functional and electrophoretical analysis. *Proceedings of the 46th International Congress on Meat Science and Technology*, Buenos Aires, Argentina, pp. 510-511.
- Totosaus A. e I. Guerrero (2006). Propiedades funcionales y textura. En *Ciencia y Tecnología de Carnes*, Y. H. Hui, M. Rosmini e I. Guerrero, editores. Editorial LIMUSA, México, pp. 205-227.
- Wagner J. R. & M. C. Añon (1985). Effects of freezing rate on denaturation of myofibrillar proteins. *Journal of Food Technology* **20**: 73-744.
- Whiting R. C. (1988). Ingredients and processing factors that control muscle protein functionality. *Food Technology* **42** (5): 104, 110-114, 210.

-
- Wilding P., P. J. Lillford & J. M. Regenstein (1984). Functional properties of protein in foods. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* **34B**: 182-189.
- Xiong Y. L. (1994). Myofibrillar protein from different muscle fiber types: implication of biochemical and functional properties in meat processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **34**(3): 293-320.
- Xiong Y. L. (1997). Protein denaturation and functional losses. En *Quality in Frozen Foods*, M. C. Erickson & Y.-C. Hung, editors. Chapman & Hall, Nueva York, pp. 111-140.
- Xiong Y. L. & C. J. Brekke (1989). Changes in protein solubility and gelation of chicken myofibrils during storage. *Journal of Food Science* **54**: 1141-1146.
- Zayas J. F. (1997). *Functionality of Proteins in Foods*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 310-358.
- Ziegler G. R. & E. A. Foegeding (1990). The gelation of proteins. *Advances in Food and Nutrition Research* **34**: 203-298.
- Ziegler G. R. & J. C. Acton (1984). Mechanisms of gel formation by protein of muscle tissue. *Food Technology* **38**(5): 77-82.