

Las proteínas: generalidades y su importancia en nutrición y en la industria de alimentos

PROFESORA
IRMA PENNACCHIOTTI MONTI



19303

SANTIAGO DE CHILE

1998

© IRMA PENNACCHIOTTI MONTI, 1998
Inscripción N° 105.122
ISBN 956-288-000-1

Derechos reservados para todos los países sin previa autorización del autor

Se terminó de imprimir esta primera edición
en *Impresos Universitaria, S.A.*
Las Parcelas 5588, Estación Central, Chile
en el mes de agosto de 1998

e-mail: imp.univ@entelchile.net

IMPRESO EN CHILE / PRINTED IN CHILE

PRÓLOGO

Durante los últimos decenios el conocimiento sobre las proteínas, principales constituyentes de las células y tejidos de la materia viva, se ha incrementado de una manera notable. Son numerosos los textos generales y artículos específicos sobre la estructura y diversas FUNCIONES biológicas, enzimáticas, hormonales e inmunológicas de las proteínas.

La alimentación en el mundo actual plantea problemas de preocupación general, debido al aumento de la población el que no va acompañado de un crecimiento paralelo de aportes alimentarios, especialmente proteicos.

De aquí el interés por el desarrollo de nuevas fuentes de proteínas. La ingeniería genética y otras técnicas recientes de cultivo de células y de tejidos, ofrecen nuevas perspectivas para una mayor producción cuantitativamente mejorada de proteínas animales, vegetales y microbianas.

Las proteínas, por otro lado, tienen además funciones muy importantes en los alimentos, que se indicarán en los capítulos respectivos.

La vasta experiencia de la autora de esta publicación en el campo de la química de los alimentos, tanto en lo que se refiere a la docencia como a la investigación aplicada, permite abrigar la esperanza de una acogida favorable por parte de los estudiantes y profesionales que de una u otra forma se interesan por conocer este importante tema del campo de la ciencia de los alimentos.

Prof. Doctor HERMANN SCHMIDT-HEBBEL

INTRODUCCIÓN



La primera tarea de un país pobre es mejorar la cantidad y calidad de su nutrición no sólo en agricultura, sino también en economía y tecnología de alimentos.

NEVIS S. SCRIMSCHAW

En los vegetales y animales se encuentra una sustancia que, sin lugar a dudas, es la más importante de todas las conocidas de la materia viva, sin la cual sería imposible la existencia del hombre y de los animales. A esta sustancia se la denomina PROTEÍNA.

El origen etimológico de la palabra "proteína" proviene de "Proto" que significa de primera categoría y fue sugerida por Jöns Jacob Berzelius y empleada por primera vez por el químico holandés Mulder en 1838. Su interés por ellas se justifica por ser entre las tres sustancias nutritivas (proteínas, lípidos e hidratos de carbono), las únicas que aportan nitrógeno en íntima relación con el papel plástico que desempeñan en la síntesis de las proteínas tisulares.

Las proteínas no sólo son constituyentes esenciales y universales de las células, sino además, son unas de las pocas fuentes de las cuales el hombre y los animales pueden reemplazar el nitrógeno perdido durante los procesos metabólicos (Fruton, S.J., 1975), (Ronsivalli *et al.*, 1992).

Las proteínas representan aproximadamente la mitad del peso seco del cuerpo (alrededor del 70% del cuerpo es agua). Del total de la proteína corporal más del tercio se encuentra en los músculos; la miosina es la proteína que forma las fibras que constituyen los elementos contráctiles fundamentales en los movimientos musculares. Los huesos y cartílagos contienen otro 20%; aquí la proteína conocida como colágeno contribuye a la estabilidad estructural del esqueleto. La piel tiene alrededor de un 10% de proteína, sirviendo la queratina como protectora de los tejidos internos y de las agresiones del medio externo (Whitaker y Tannenbaun, 1977).

Una gran parte de la población del mundo sufre principalmente de

carencia de proteínas, mal conocido como Kwashiork. Esta palabra tomada de una tribu de África, se refiere al trastorno nutricional del hombre más grave y extendido en todos los países de las zonas tropicales del mundo.

En la mayoría de las hortalizas y otros alimentos vegetales el contenido de proteínas es bajo en cantidad y pobre en calidad, siendo los alimentos de origen animal excelentes fuentes de proteínas de alto valor biológico.

Según la FAO, en la actualidad unos 800 millones de personas padecen de desnutrición crónica, situación que podría empeorar en las próximas décadas. Esto motiva la necesidad de plantear un uso más eficiente de las fuentes alimenticias que ayuden a solucionar el problema. Un progreso prometedor es el estudio que se lleva a cabo en la obtención de aminoácidos esenciales. En los Estados Unidos ya se suministra a los animales metionina sintética a gran escala. La adición de lisina a la harina de trigo o al pan, puede aumentar el factor de aprovechamiento de la proteína de trigo desde $1/2$ a $2/3$ y la treonina puede convertir las proteínas de los cereales en un material casi tan completo y aprovechable como las proteínas de la carne y de la leche.

Las proteínas poseen una extraordinaria diversidad de funciones y a esta circunstancia debe corresponder una diversidad de estructura química.

El número de proteínas identificadas es muy grande y va en aumento rápidamente. Estudiar las proteínas presentes en los sistemas vivientes, investigar su estructura química y explicar su papel biológico en función de esta estructura, son problemas fundamentales de la bioquímica moderna.

Las proteínas pueden clasificarse, arbitrariamente, en tres grupos principales:

- proteínas de estructura
- proteínas con actividad biológica
- proteínas alimenticias

Las proteínas estructurales (queratina, colágeno, elastina) están presentes en los tejidos, como músculos, huesos, piel, órganos internos, líquidos intracelulares. Su función depende principalmente de su estructura fibrosa.

Las proteínas con propiedades biológicas tienen un papel activo en todos los procesos biológicos, siendo las enzimas las más importantes de este grupo; entre otras se encuentran las hormonas, que regulan las funciones metabólicas, como por ejemplo, la insulina.

Las proteínas alimenticias no constituyen un grupo único a causa del hecho que muchas proteínas estructurales o biológicamente activas, son proteínas alimenticias. Éstas son simplemente aquellas que resultan sabrosas, no tóxicas y económicamente utilizadas por el hombre (Braverman, 1980).

Capítulo I

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS PROTEÍNAS

1.2 ¿QUÉ SON LAS PROTEÍNAS?

Las proteínas son las moléculas más abundantes en el interior de las células. Son fundamentales en cuanto a su estructura y función, puesto que son los instrumentos moleculares mediante los cuales se expresa la información genética; además, desempeñan importantes funciones como la catálisis, la regulación metabólica y los procesos contráctiles.

Las proteínas son macromoléculas que contienen carbono, nitrógeno oxígeno y, casi todas, azufre. En algunas se ha encontrado fósforo, hierro, zinc y cobre (Robinson, 1991). Sus pesos moleculares son muy elevados y mediante la hidrólisis ácida dan una serie de compuestos orgánicos sencillos, de bajo peso molecular, llamados aminoácidos. El nitrógeno representa entre un 12 y un 19% de la molécula, constituyendo ésto la característica principal de una proteína. El factor de conversión de nitrógeno, obtenido según Kjeldhal es diferente según el alimento:

— semillas de oleaginosas, frutos con cáscara y derivados	5.30
— gelatina	5.55
— trigo y derivados, fideos, pan	5.70
— soya y derivados	5.71
— panes de diversas harinas	5.77
— avena, cebada, centeno, productos integrales	5.83
— arroz y derivados	5.95
— carnes, pescados, maíz y derivados, verduras y frutas (excepto las con cáscara) leguminosas (excepto soja)	
— levadura y derivados	6.25
— leche	6.38

FUENTE: (Schmidt-Hebbel, 1981).

2. CONFORMACIÓN DE LAS PROTEÍNAS

Cada tipo de molécula proteica posee una organización tridimensional conocida como su conformación. Según sea la conformación, las proteínas se dividen en dos tipos:

2.1 Proteínas fibrosas

Las proteínas fibrosas son físicamente resistentes, insolubles en agua o en soluciones salinas diluidas. Están formadas por cadenas polipeptídicas ordenadas en paralelo a lo largo de un eje común lineal, formando fibras o láminas largas. Ejemplos de los elementos básicos estructurales del tejido conjuntivo son el colágeno de los tendones, la matriz de los huesos, la alfa-queratina del pelo, piel, uñas y plumas y la elastina del tejido conjuntivo elástico.

2.2 Proteínas globulares

Estas proteínas están constituidas por una o varias cadenas polipeptídicas plegadas, adoptando formas esféricas o globulares compactas. Algunas moléculas poseen a la vez propiedades fibrosas y globulares (actina, fibrinógeno) (Braverman, 1980).

Forman especialmente las proteínas de las enzimas, las hormonas y anticuerpos con actividad biológica (Cheffel *et al.*, 1992).

3. CLASIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS

Las proteínas se dividen en dos grandes grupos basándose en su composición:

3.1 Proteínas simples

Son aquellas que por hidrólisis completa originan sólo aminoácidos. Contienen un 50% de carbono, 7% de hidrógeno, 23% de oxígeno, 16% de nitrógeno y 0 a 3% de azufre (Robinson, 1991).

Las proteínas simples se dividen en:

- a) *Albúminas*: son solubles en agua, en soluciones salinas diluidas. Se encuentran ampliamente distribuidas en la materia viviente.
- b) *Globulinas*: son solubles en soluciones salinas diluidas y escasamente solubles en agua destilada o insolubles. Constituyen un grupo importante de proteínas de amplia distribución en el reino animal y vegetal.

- c) *Prolaminas*: son insolubles en agua, solubles en soluciones acuosas de etanol al 70% y también en soluciones acuosas de otros alcoholes de bajo peso molecular.
- d) *Glutelinas*: corresponden a unas de las proteínas más pequeñas, siendo ricas en arginina y aminoácidos básicos; no contienen azufre y su carácter básico les permite formar sales, tendencia a unirse con proteínas acídicas y a ácidos nucleicos.
- e) *Histonas*: estas proteínas contienen gran cantidad de aminoácidos básicos. Se encuentran combinadas con ácidos nucleicos en los núcleos de las células somáticas de muchos organismos.
- f) *Escleroproteínas*: son insolubles en agua y en la mayoría de los solventes orgánicos. Forman parte de la estructura corporal como el colágeno y la queratina.

3.2 Proteínas conjugadas

Estas proteínas producen por hidrólisis compuestos orgánicos o inorgánicos. La fracción no aminoacídica se conoce como "grupo prostético". Este tipo de proteínas se puede clasificar de acuerdo a la naturaleza química de sus grupos prostéticos como:

- a) *Nucleoproteínas*: resultan de la asociación entre una proteína de carácter básico y un ácido nucleico.
- b) *Fosfoproteínas*: tienen un grupo prostético correspondiente a una molécula de ácido fosfórico. Ejemplos típicos son: la caseína de la leche, la vitelina del huevo y muchas enzimas capaces de asociar reversiblemente moléculas de ortofosfato.
- c) *Cromoproteínas*: están formadas por una proteína, generalmente una globulina y una estructura coloreada; ejemplo la homocianina, citocromos y flavoproteínas.
- d) *Lipoproteínas*: están constituidas por una proteína y un lípido. Son proteínas típicamente estructurales y se las encuentra como componentes importantes de la membrana celular, mitocondrias, etc. (Yáñez, 1983; Lehninger, 1985).

4. ESTRUCTURA DE LAS PROTEÍNAS

Es evidente que la forma de la molécula proteica es el resultado de una alta estructuración interna que ha sido motivo de muchos estudios físico-

químicos, especialmente por Linus Pauling (1955) y sus colaboradores. Como resultado de estas investigaciones, fue posible asignar a las proteínas cuatro niveles de estructura:

Nivel 1. Estructura primaria

Esta estructura está conformada por la secuencia lineal de los aminoácidos, esto es, por el orden en que se encuentran ellos al unirse entre sí mediante enlaces peptídicos. Las distintas cadenas peptídicas de una molécula tienen un aminoácido C-terminal, portador de un grupo carboxilo (Braverman, 1980; Cheftel, 1992).

Las distintas cadenas polipeptídicas que forman parte de la molécula proteica suelen estar unidas por puentes disulfuro de restos de cistina (aminoácido azufrado). Estos puentes son inestables a la mayor parte de las condiciones hidrolíticas y sufren fácilmente numerosas reacciones de reorganización.

Actualmente se conoce la estructura primaria de numerosas proteínas (hormonas, enzimas) y su conocimiento ha significado un valioso aporte, ya sea para la interpretación del mecanismo de acción de estas proteínas o para la realización de su síntesis química.

Nivel 2. Estructura secundaria

Linus Pauling (1955) observó que si se hacía pasar un haz de luz polarizada por una solución de proteínas, se producía una desviación en el plano de la luz polarizada. Este fenómeno fue interpretado de la siguiente manera: la unión entre los aminoácidos mediante el enlace peptídico para formar la estructura primaria, no forma una estructura lineal en el espacio, sino que va describiendo un giro sobre sí mismo, adquiriendo una forma helicoidal (alfa-hélice) y es típica de las proteínas globulares. Se han descrito aproximadamente 3.6 restos de aminoácidos por tipo de estructura fibrosa. El alfa-hélice de una proteína está sustentado por la formación de puentes de hidrógeno entre el grupo carboxilo de un residuo de aminoácido (proveniente del grupo carboxilo antes de la formación del enlace peptídico) y el grupo imino (- NH -) del tercer

residuo del aminoácido siguiente en la estructura primaria. Si bien el puente de H en sí es una interacción muy débil, la formación de un gran número de estas interacciones en la estructura aminoacídica proporciona estabilidad al alfa-hélice.

Nivel 3.

Estructura terciaria

Las proteínas deben estabilizarse respecto a su estructura, adoptando la forma termodinámica más estable. Esta estructura se forma por plegamiento de la cadena aminoacídica, de manera que se establezca el mayor número de interacciones aminoacídica-aminoácido y aminoácido-solvente. La proteína adopta una forma globular característica, donde los radicales de aminoácidos son capaces de interactuar con el solvente quedando hacia afuera y los radicales de aminoácidos hidrófobos quedan hacia el interior de la estructura de la proteína. La estructura terciaria resulta, por lo tanto, del plegamiento de la cadena polipeptídica y estabilizada a través de diversos tipos de uniones.

Nivel 4.

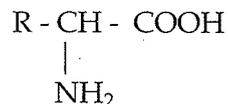
Estructura cuaternaria

Muchas proteínas terciarias ya formadas son capaces de unirse entre sí, formando una estructura cuaternaria. Las interacciones que permiten la formación de este tipo de estructura son similares a aquellas que intervienen en la estabilización de la estructura terciaria. Cada estructura proteica que integra una estructura cuaternaria constituye una sub-unidad, de modo que una proteína formada por dos sub-unidades (de igual o diferente estructura), constituye un dímero, y una de tres unidades un trímero. En muchos casos las proteínas con estructura cuaternaria son fácilmente disociadas en sus subunidades por agentes capaces de terminar con las interacciones que forman esta estructura, que la presentan proteínas de mucha importancia biológica, como la hemoglobina (Robinson, 1991; Cheftel *et al.*, 1992).

5. UNIDADES ESTRUCTURALES DE LAS PROTEÍNAS

Los aminoácidos

Los aminoácidos derivan de la fórmula general:



y se han descrito 20 de ellos; son ácidos alfa aminocarboxílicos, en los cuales el grupo carboxilo y el amino están unidos al carbón alfa (Yáñez *et al.*, 1983).

En las proteínas, los aminoácidos están unidos mediante el enlace peptídico; -CO-NH, es decir el grupo carboxilo de un aminoácido forma un enlace con el grupo amino de un segundo aminoácido, con eliminación de una molécula de agua (Lehninger, 1985; Belitz *et al.*, 1985).

Las proteínas cuando se hidrolizan con ácidos minerales o por medio de enzimas, se descomponen liberando los aminoácidos. Durante la digestión de las proteínas por el hombre y los animales, los enlaces peptídicos son atacados rápidamente en el estómago y en el intestino delgado por las enzimas proteolíticas específicas del estómago y del páncreas, que catalizan esta reacción, de manera que los aminoácidos y los péptidos pequeños liberados pasan a la sangre de la vena porta, principalmente desde el intestino delgado.

En cuanto al punto de vista nutricional, las necesidades no son de proteínas, sino de aminoácidos, que el hombre y los animales utilizan para la biosíntesis de las enzimas, proteínas estructurales y compuestos no proteicos, como los ácidos nucleicos.

6. PROPIEDADES GENERALES DE LOS AMINOÁCIDOS

Estructura general y clasificación

Los aminoácidos son los monómeros de la molécula proteica. Cada uno de ellos contiene una cadena lateral (R) que influencia sus propiedades físicas y químicas y por lo tanto las propiedades de las proteínas que las contienen (Cheftel *et al.*, 1992, Yáñez *et al.*, 1983).

Según la polaridad de esta cadena lateral, es posible clasificar los aminoácidos en cuatro grupos:

6.1 Los aminoácidos con cadenas laterales sin carga (no polares) como la

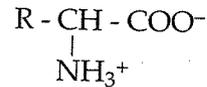
glicina, la alanina, la valina, la leucina, la isoleucina, la prolina, la fenilalanina, el triptofano y la metionina.

- 6.2 Los aminoácidos con cadenas laterales cargadas positivamente, como la lisina, la arginina e histidina.
- 6.3 Los aminoácidos con cadena lateral cargada negativamente, como los ácidos aspártico y glutámico.
- 6.4 Los aminoácidos con cadenas laterales sin carga, que tienen grupos funcionales neutros y polares como la serina, la treonina, la cisteína, la tirosina, la asparragenina y la glutamina.

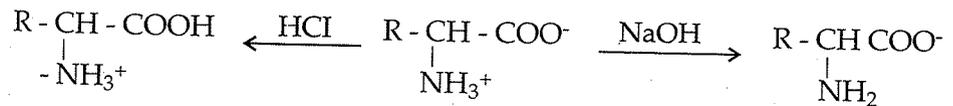
Desde el punto de vista de la fisiología y la nutrición, los aminoácidos se clasifican en dos grupos:

- a) *Aminoácidos esenciales*: valina, leucina, isoleucina, triptofano, fenilalanina, treonina, histidina (esencial para lactantes), lisina, arginina, metionina, cisteína que el organismo no sintetiza en cantidad suficiente.
- b) *Aminoácidos no esenciales*: glicina, alanina, cistina, tirosina, serina, glutamina y ácidos glutámico y aspártico (Belitz *et al.*, 1985).

Algunas de las propiedades de los aminoácidos como punto de fusión, solubilidad en agua, momentos dipolares y constante dieléctrica en solución acuosa se deben a la distribución dispar de sus cargas eléctricas en soluciones acuosas. Así todos los aminoácidos en solución acuosa a pH próximo a la neutralidad, están bajo la forma de "Zwitteriones" (iones híbridos)



Cuando el aminoácido está disuelto en el agua, se puede comportar según sea el pH:



En otros términos, estas moléculas son anfóteras (Braverman 1980), actúan como ácidos en solución alcalina y como álcalis en soluciones ácidas.

Los aminoácidos presentan una serie de reacciones debido a la función amino y ácido o a las dos. Además, si poseen una cadena lateral

reactiva tienen reacciones específicas, entre ellas la de producir color, útil para detectar y valorar en forma cuantitativa las proteínas y los aminoácidos. Por otra parte las reacciones que ocurren en las cadenas laterales de los aminoácidos se utilizan para modificar químicamente las proteínas (Cheftel *et al.*, 1992).

Todos los aminoácidos no necesariamente se encuentran en una proteína determinada y también algunos de ellos pueden estar presentes muchas veces en la misma molécula proteica.

Los aminoácidos no esenciales se sintetizan a partir de intermediarios metabólicos mediante 1 ó 2 reacciones bioquímicas catalizadas por enzimas. Los grupos -NH₂ de la mayoría de estos aminoácidos se obtienen a partir de transmisión catalizada por diversas transaminasas (Lehninger, 1985).

7. DESNATURALIZACIÓN DE LAS PROTEÍNAS

La conformación de una proteína basada en sus estructuras secundarias y terciarias la hace muy frágil.

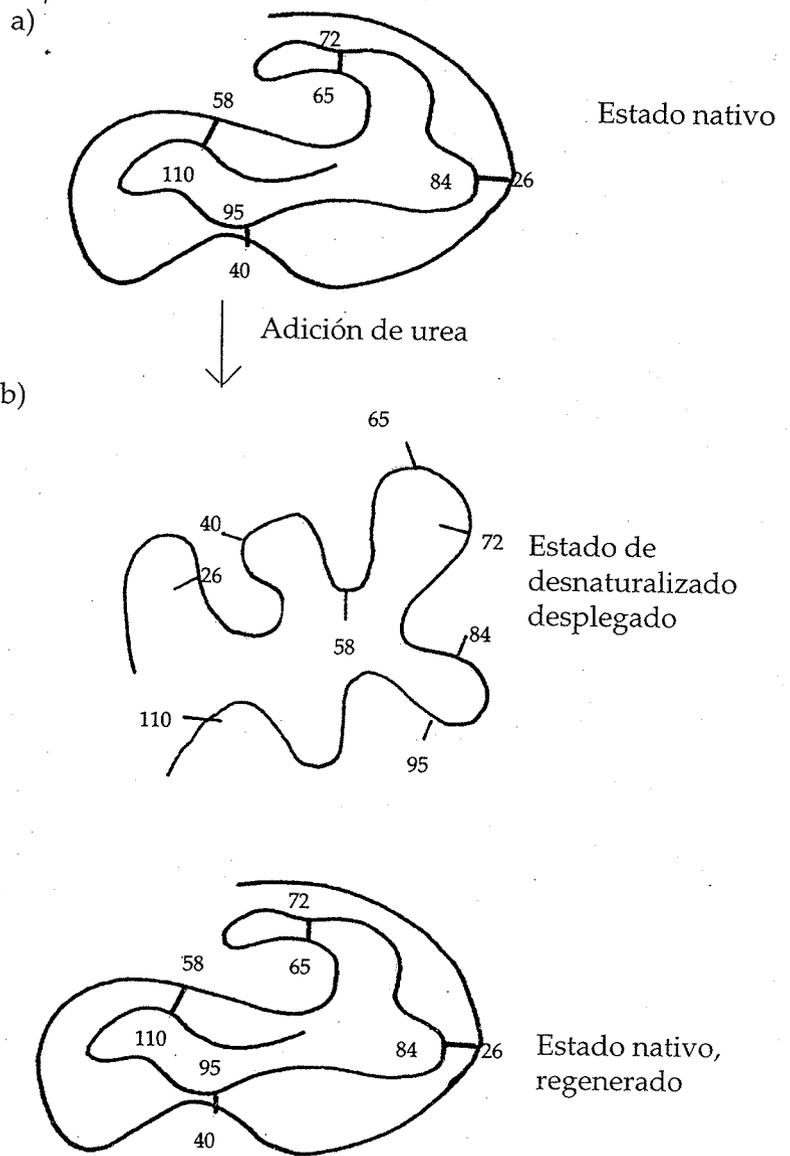
Las proteínas sufren un proceso conocido como desnaturalización, en la cual se altera la disposición espacial de las cadenas polipeptídicas dentro de la molécula y transformándose la estructura típica de ella, en otra más desordenada (Lehninger, 1985). Esta modificación no va acompañada por la ruptura de los enlaces peptídicos implicados en la estructura primaria (Fig. 1).

Muchas moléculas proteicas sólo retienen su actividad biológica dentro de una fluctuación muy limitada de temperatura y de pH. La exposición de las proteínas globulares a pH extremos o a temperaturas muy altas les hace experimentar un cambio conocido, como ya se dijo: la desnaturalización.

Los efectos de la desnaturalización son numerosos y entre ellos se pueden destacar:

1. descenso de la solubilidad, resultado del desbloqueo de grupos hidrófobos.
2. alteración en la capacidad de retención de agua.
3. pérdida de la actividad biológica (enzimas, hormonas).
4. aumento de la sensibilidad al ataque de proteasas, debido al desbloqueo de los enlaces peptídicos correspondientes a los sitios de acción específica de las proteasas.

Figura 1
PROTEÍNA NATIVA Y DESNATURALIZADA



5. aumento de la viscosidad intrínseca.
6. su capacidad de cristalizar.

La desnaturalización puede ser reversible o irreversible, pero cuando se rompen los enlaces disulfuros que contribuyen a la conformación de las proteínas, este proceso es normalmente irreversible.

Bajo ciertas circunstancias puede ser o no reversible; esto último ocurre, generalmente cuando las condiciones de desnaturalización no han sido demasiado drásticas, ni el tiempo necesario. En algunas ocasiones el proceso de desnaturalización puede ocasionar otras estructuras diferentes a la de la proteína nativa, al establecer interreacciones y enlaces entre regiones de aminoácidos diferentes a los originales.

Entre los principales agentes de desnaturalización de las proteínas se encuentran agentes físicos y agentes químicos (Leverton, R., *et al.*, 1985).

7.1 Agentes físicos

- a) *Calor*: La sensibilidad de las proteínas a la desnaturalización térmica depende de numerosos factores, tales como la naturaleza y concentración de proteínas, la actividad de agua, el pH, la fuerza iónica y la naturaleza de los iones presentes. Esta desnaturalización, frecuentemente, va acompañada de un descenso de la solubilidad, de segregación de moléculas proteicas desplegadas, así como de un aumento de la capacidad de absorción de agua por la proteína.
- b) *Frío*: Las bajas temperaturas pueden inducir la desnaturalización de muchas proteínas. Así, enzimas que son estables a una temperatura ambiente, pueden inactivarse a 0 °C y algunas proteínas se agregan y precipitan cuando alcanzan temperaturas de congelación. Por otro lado las bajas temperaturas pueden provocar la disociación de oligómeros; varias lipasas y oxidasas no sólo son resistentes a las temperaturas de congelación, sino incluso, siguen activas a esas temperaturas.
- c) *Tratamientos mecánicos*: Numerosos tratamientos mecánicos, tales como amasado o laminado que se aplican al pan y otras masas, pueden desnaturalizar las proteínas por las fuerzas de cizallamiento que originan. Los estiramientos reiterados modifican la red proteica debido principalmente a la ruptura de las alfa-hélice.
- d) *Presión hidrostática*: La presión hidrostática puede tener un efecto desnaturalizante, pero en general sólo para valores superiores a 50k Pa; la ovoalbúmina y la tripsina se desnaturalizan a presiones de 50 y 60k Pa, respectivamente.

- e) *Irradiación*: Los efectos de la irradiación sobre las proteínas varían en función de la longitud de onda y energía aplicadas. Los residuos de aminoácidos aromáticos absorben radiaciones ultravioletas que pueden inducir a una modificación de la conformación y, si el nivel energético es suficiente, se produce la ruptura de las uniones disulfuros.

7.2 Agentes químicos

- a) *Ácidos y bases*: El pH del medio en el cual está la proteína tiene influencia considerable en el proceso de desnaturalización. La mayoría de las proteínas son estables para una determinada zona de pH y frecuentemente se desnaturalizan cuando se someten a valores de pH muy altos o muy bajos; en algunos casos, la proteína recupera su actividad natural, cuando el pH vuelve al valor en el cual la proteína es estable.
- b) *Metales*: Los iones metálicos alcalinos (sodio, potasio), sólo reaccionan de una forma limitada con las proteínas, mientras que los alcalino-térreos como el calcio y el magnesio son más reactivos.
- c) *Disolventes orgánicos*: La mayor parte de los disolventes orgánicos pueden considerarse como agentes desnaturalizantes. Modifican la constante dieléctrica del medio y por lo tanto las fuerzas electrostáticas que contribuyen a la estabilidad de las proteínas.
- d) *Soluciones acuosas de compuestos orgánicos*: Varios compuestos orgánicos, tales como la urea y las sales de guanina contribuyen, en soluciones concentradas (4 a 8 M), a la ruptura de enlaces hidrógenos y provocan con intensidad variable, una desnaturalización de las proteínas (Robinson, 1991).

Reacciones de las proteínas durante la preparación de los alimentos

La preparación de los alimentos puede tener como consecuencia alteraciones químicas de las proteínas cuyo tipo y magnitud dependen de varios parámetros; por ejemplo, de la composición del alimento, de las condiciones del proceso tales como tiempo, temperatura, pH, y presencia de oxígeno. El resultado de tales reacciones puede ser una disminución del valor biológico de la proteína debido por ejemplo a:

- Destrucción de aminoácidos esenciales.
- Transformación de los aminoácidos esenciales en derivados, que no pueden ser utilizados metabólicamente.

— Disminución de la digestibilidad por uniones intra o intercatenarias.

En los alimentos proteicos en los cuales se producen procesos hidrolíticos como en la carne, pescado, queso, los aminoácidos liberados pueden contribuir al sabor.

La calidad gustativa depende de la configuración de los aminoácidos: los que presentan sabor dulce pertenecen mayoritariamente a la serie D- y los amargos a la serie L-. Los aminoácidos con cadenas laterales cíclicas son o bien dulces o bien amargos. El ácido glutámico en concentraciones elevadas tiene sabor a carne, en tanto la metionina tiene sabor a azufre (Belitz, Grosch, 1985).

Los aminoácidos de las proteínas naturales tienen un carbono asimétrico, son ópticamente activos y presentan la configuración L-; en tanto que la configuración D- se encuentra en los obtenidos por síntesis (Braverman, 1880)

Tabla N° 1

PROPIEDADES DE LAS PROTEÍNAS EN ALIMENTOS

Importancia en fisiología alimentaria	Importancia tecnológica
— Composición en aminoácidos	— solubilidad
— Disponibilidad de los aminoácidos	— dispersabilidad
	— coagulabilidad
	— fijación de agua
	— formación de geles
	— formación de masa panificable
	— elasticidad
	— viscosidad
	— adhesividad
	— formación de espuma
	— volumen y estabilidad de espuma
	— capacidad emulsionante
	— estabilidad de las emulsiones
	— extrusión

FUENTE: Belitz, Grosch, 1985; Robinson, 1991.

Capítulo II

LAS ENZIMAS

1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS ENZIMAS

Las enzimas son proteínas especializadas en la catálisis de las reacciones biológicas. Se encuentran entre las más notables de las biomoléculas conocidas, debido a su extraordinaria especificidad y a su poder catalítico, que es mucho mayor que la de los catalizadores preparados por el hombre.

Muchas enzimas han sido designadas añadiendo el sufijo *asa* al nombre del sustrato, es decir, de la molécula sobre la cual la enzima ejerce su acción catalítica. Por ejemplo, la ureasa cataliza la hidrólisis de la urea con producción de amoníaco y CO₂; la arginasa cataliza la arginina originando ornitina y urea y la fosfatasa hidroliza los ésteres fosfóricos (Schultz, 1960; Schmidt-Hebbel, Pennacchiotti, 1982).

Las enzimas son, por lo tanto, responsables directas de todos los cambios bioquímicos que se suceden dentro de la célula, no sólo siendo agentes naturales de cambio de los alimentos, sino que son, además, potenciales catalizadores para su transformación o producción.

Hasta hace poco tiempo no había unanimidad en cuanto a la clasificación de las enzimas conocidas y por lo general se empleaban diferentes sistemas; algunos las ordenaban según el tipo de reacción que catalizan, otros lo hacían según el sustrato sobre el cual actúan las enzimas. Braverman (1980) clasificó las enzimas en dos grandes grupos; las enzimas hidrolizantes llamadas *Hidrolasas* y otro grupo conocido como *Desmolasas*.

En un intento de introducir una normalización en la nomenclatura de las enzimas la Comisión de Enzimas de la Unión Internacional de Bioquímica, ha propuesto una nueva clasificación, la cual divide a las enzimas en seis grupos según el tipo de reacción que catalizan.

1.1 Oxidorreductasas

Son las enzimas comprometidas en la oxidación de los sistemas biológicos. En este grupo se incluyen las enzimas conocidas como hidrogenasas,

reductasas, oxidasas, oxigenasas, así como las hidroxilasas y la enzima catalasa.

1.2 Transferasas

Son las enzimas que catalizan la transferencia de varios grupos químicos (metilo, acetilo, cetona, amino, fosfato, etc.) de un sustrato a otro.

1.3 Hidrolasas

Son las enzimas responsables de la ruptura hidrolítica de uniones peptídicas. Su nombre común se forma mediante el agregado del sufijo *asa* al nombre del sustrato, ejemplo: las lipasas, proteinasas, pectinoesterasas, amilasas, maltasas, etcétera.

1.4 Liasas

Estas enzimas también catalizan la ruptura de uniones, pero no por hidrólisis. Algunas eliminan grupos de sus sustratos, dejando dobles ligaduras. Entre éstas se encuentran las carboxilasas, aldolasas, hidratasas.

1.5 Isomerasas

Transforman a sus sustratos de una forma isomérica a otra. Entre éstas se encuentran las racemasas y las epimerasas.

2. INACTIVACIÓN DE LAS ENZIMAS

Tal como sucede con muchas proteínas, las enzimas pueden ser desnaturizadas por varios medios, entre ellos el calor. La mayoría de las enzimas son, por lo tanto termolábiles y generalmente una temperatura de 70 a 80 °C durante 2 a 5 minutos basta para inactivarlas.

La enzima peroxidasa es particularmente estable y puede llegar a soportar por algunos minutos, temperaturas de hasta 120 °C, sin perder por completo su actividad.

2.1 Agentes desnaturizantes químicos

Ya que la estructura secundaria de las proteínas está sustentada por los puentes de hidrógeno entre carboxilo e imino de los enlaces peptídicos, cualquier agente químico que pueda competir con estos radicales en la

formación de dichas interacciones va a llevar a una destrucción de la estructura secundaria y terciaria, ya que la formación de esta última depende de la primera. Ejemplos típicos de estos agentes son la urea y los alcoholes.

Los solventes no polares también afectan la estructura molecular de la proteína, ya que destruyen las interacciones hidrofóbicas e impiden la formación de interacciones polares y puentes de hidrógeno.

Los cambios de pH y fuerza iónica también afectan la solubilidad de las proteínas, provocando en determinadas condiciones su precipitación. En este caso típico la precipitación con soluciones concentradas de sulfato de amonio es el procedimiento utilizado en la separación y purificación de proteínas y enzimas.

2.2 Agentes desnaturalizantes físicos

La temperatura ejerce un efecto desnaturalizante en las enzimas, al desorganizar totalmente la estructura de la macromolécula, provocándole muchos cambios de solubilidad (coagulación), color, digestibilidad, etcétera.

Las ondas ultrasónicas así como las radiaciones, también provocan la destrucción de las enzimas.

Se ha observado que algunas enzimas regeneran su actividad, reapareciendo después de un tiempo. El caso más conocido es el de la peroxidasa (leche y vegetales), enzimas pectolíticas (jugos cítricos) al no haber sido debidamente inactivadas.

Durante siglos la fermentación, la putrefacción y la digestión fueron consideradas como procesos idénticos. La palabra fermento con que se designó en un principio a estas sustancias proviene del término en latín "fermentum" = levadura o (según otros) de fervere = hervir, debido al desprendimiento de gas que acompaña a los procesos enzimáticos, como la fermentación alcohólica.

Sin embargo, hace más de 100 años el término fermento se ha sustituido a nivel internacional por el de "enzimas" aplicado por Kühne, (1878) proveniente del griego "en zyme" = levadura y según otros del término griego "zymes" = zumo. Esta última acepción de la palabra "enzima" confirma la inexactitud de la antigua clasificación que se había hecho entre "fermentos figurados o celulares" y "no figurados, solubles o enzimas".

En efecto, fue Eduardo Buchner quien comprobó mediante su experiencia (que le valió el Premio Nobel en 1907), que la fermentación

alcohólica lograda por el zumo de expresión de la levadura, se realizaba por la "zimasa 2" independiente de toda célula viva. Para exprimir el contenido celular de la levadura empleó una prensa hidráulica (Schmidt-Hebbel, Pennacchiotti, 1982).

Hitos en la evolución del conocimiento de las enzimas

La historia de las enzimas está estrechamente conectada con el gran aumento del conocimiento en el campo de la química y de la tecnología de alimentos; se señala que fue en estas dos disciplinas que la actividad catalizadora de las enzimas fue observada por primera vez (Pintauro, 1979).

Entre las etapas que constituyen verdaderos hitos en la evolución progresiva de la investigación sobre las enzimas fueron, entre otras, sin duda, las siguientes:

- Descripción en 1526 de fenómenos relacionados con la fermentación, por el famoso químico Paracelso.
- Observación hecha en 1783 por el naturalista y fisiólogo Lázaro Spallanzani, de que la carne era digerida por el jugo gástrico de los animales.
- Descripción de J.Liebig y F. Wöhler en 1837, de la emulsina de las almendras.
- Aislamiento, a partir de raíces de vegetales, de una primera enzima-peroxidasa realizado por Planche, a comienzos del Siglo XIX.
- Estudio de la invertasa en la miel, hecho por H.Erlenmeyer, en 1874.
- Los estudios de Irvine en 1785 demuestran la acción hidrolítica sobre el almidón y Kirchoff en el mismo año describe las diastasas del trigo.
- Elaboración de un primer preparado enzimático de origen microbiano, patentado por Takamine en Japón, en 1884.
- Obtención de una primera enzima en forma cristalina, la ureasa, a partir de la soja, en 1926, por Sumner.
- Mejoramiento de las técnicas de purificación y caracterización de un centenar de enzimas, lo que condujo a una verdadera "ingeniería enzimática", en los años 30 siguientes.
- Reconocimiento de la secuencia aminoacídica de una serie de enzimas importantes, en la década del 60.
- Comprobación de la estructura tridimensional de la lisozima, por análisis de rayos X en 1965.

- Síntesis química completa de una enzima con actividad de ribonucleasa, realizada por Merifield a fines de la década del 60.

Los estudios sobre las enzimas se han acelerado últimamente, en tal forma que han permitido el mejoramiento de las técnicas de purificación, de obtención y caracterización de más de un centenar de ellas y se ha llegado a conocer el impacto de las biotecnologías enzimáticas, las que están adquiriendo un interés considerable, debido a la especificidad de su acción, la limitación de sus riesgos de polución y la posible economía de energía que a veces involucra su aplicación (Schmidt-Hebbel H., Pennacchiotti I., 1982).

Es conocida la multitud de fenómenos de origen enzimático que pueden incidir en los procesos tecnológicos a que se someten los alimentos.

Como la destrucción de la célula no inhibe las enzimas, éstas pueden continuar su acción más allá de la muerte por cosecha o destrucción del sistema biológico de todo organismo vegetal o animal, que constituye el alimento. En esta actividad las enzimas pueden tener efectos desagradables sobre el olor, sabor, textura y valor nutritivo de los alimentos; la oxidación enzimática del ácido ascórbico y de los carotenos es un ejemplo de esta última acción.

Por otra parte, la actividad enzimática puede tener efectos beneficiosos en los alimentos, de modo que se debe favorecer como sucede, por ejemplo, en su intervención en el proceso de maduración de las frutas, quesos y derivados cárnicos (Schultz H.W., Anglemeir A.F., 1960).

3. APLICACIONES DE LAS ENZIMAS

Las enzimas pueden aplicarse en tecnología de alimentos para diferentes fines:

3.1 Como indicadores del estado higiénico y de conservación de los alimentos.

La presencia de algunas enzimas producidas por microorganismos indicaría el estado higiénico y de conservación de los alimentos. Como ejemplo, la catalasa y reductasa en leche y jugos. Para la determinación de la catalasa se usa un catalasímetro, que permite medir el volumen de oxígeno que se desprende al agregar a la leche o jugo una cantidad de agua oxigenada; el resultado se expresa en ml de O₂%. La leche cruda

normal desprende hasta 30 ml de O₂, la pasteurizada hasta 6 ml de O₂ y la cocida no presenta desprendimiento de oxígeno. Las leches enfermas y sucias desprenden hasta 10 ó 15 veces más que una leche normal (Schmidt-Hebbel, 1981; Pintauro, 1979; King, 1978).

3.2 Como control de procesos tecnológicos en alimentos

Las enzimas fosfatasa y peroxidasa se usan para determinar si la temperatura aplicada fue la adecuada para su inactivación. La fosfatasa puede determinarse, en base a la hidrólisis del disodiofenil-fosfato, en presencia de la enzima que libera fenol, el que se reconoce por el reactivo dibromoquinonclorimida, apareciendo color azul por la formación de indofenol. Una leche bien pasteurizada debe permanecer incolora.

En el proceso de escaldado o blanching, el test de peroxidasa es fundamental (Braverman, 1980; Lund, 1975). Las principales razones por la que se ha escogido esta enzima para este control son:

- su presencia en cantidades considerables en todos los alimentos
- su estabilidad al calor, siendo muy resistente a él
- su actividad puede medirse fácilmente por métodos simples y rápidos.

Se reconoce la presencia de la peroxidasa usando como reactivo una solución hidroalcohólica de guayacol y agua oxigenada, apareciendo un color naranja al existir la enzima en el alimento. El límite térmico de esta enzima es de 75 a 82 °C, siendo la temperatura de pasteurización de sólo 71 °C. De no inactivarse la enzima en forma adecuada, puede sufrir la regeneración enzimática durante el almacenamiento del alimento.

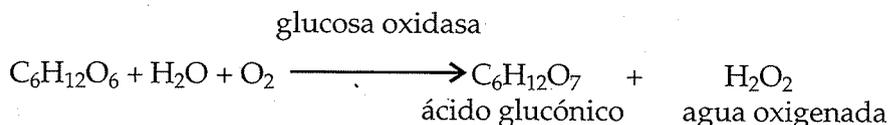
La polifenoloxidasas es otra enzima importante que permite determinar si el proceso tecnológico ha sido bien realizado. Esta enzima es la responsable del pardeamiento que sufren algunos alimentos y es inactivada por el calor y, entre otros compuestos químicos, por el anhídrido sulfuroso. Si se desea detectar la presencia de esta enzima se aplica la prueba del catecol, apareciendo un color pardo, de estar ella presente (Schultz, 1960).

3.3 Las enzimas como reactivos de laboratorio

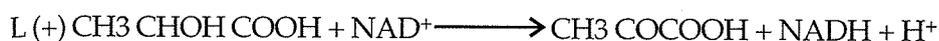
Mediante enzimas puras, se pueden determinar algunos componentes de los alimentos, a veces difíciles de valorar por métodos químicos; como

ejemplo se puede determinar la glucosa en la miel y de algunos ácidos orgánicos como el ácido láctico en vino.

Para la determinación de la glucosa en la miel se usa la enzima glucosa-oxidasa que es capaz de transformar la glucosa en ácido glucónico y agua oxigenada. Al agregar un reactivo cromógeno como la o-dianisidina, el oxígeno desprendido reacciona con él, dando un color que es proporcional a la concentración de glucosa en el producto. La glucosa-oxidasa va acompañada con la enzima catalasa, la que descompone el agua oxigenada que se va formando:



En el caso del vino la presencia de ácido láctico se determina usando la enzima lactato-deshidrogenasa (LDH) que favorece el traslado de H⁺ del ácido láctico a la nicotinamida-adenina-dinucleotido (NAD) (Schmidt-Hebbel, 1981):



Para la determinación de alcohol existen buenos métodos enzimáticos, usando la alcohol-dehidrogenasa, obtenida de levadura. El equilibrio de la reacción que convierte el etanol en acetaldehído (NAD a NADH, leído a 340 nm) se logra usando semicarbacida o hidracina para retener el acetaldehído. El NADH formado se mide por técnicas colorimétricas o determinaciones fluorimétricas (King, 1978).

Tabla N° 2

CONTENIDO DE PEROXIDASA EN ALGUNOS ALIMENTOS

Alimento	Contenido de peroxidasa
RÁBANO	403 U/kg
NABO	110 U/kg
CAMOTE	30 U/kg
PAPA	36 U/kg
TRIGO	10 U/kg
CEBADA	9 U/kg

FUENTE: Underkofler, L.A., 1961.

U = es el aumento de absorbancia de 0.001 por minuto bajo las condiciones específicas de ensayo a 25 °C.

Capítulo III

PROTEÍNAS DE ORIGEN ANIMAL

Las proteínas representan un papel nutricional especial, tanto para la alimentación humana como para los animales. Se ha demostrado que, además de su función nutricional para cubrir necesidades energéticas y de constitución, las proteínas desempeñan una función esencial en la apetencia del alimento, es decir, en sus características organolépticas.

Entre los alimentos que entregan proteínas de alta calidad biológica (es decir, aportan los aminoácidos esenciales) se encuentran la leche, la carne, el pescado, el huevo (3,2, 20-23, 15-20 y 13,5%, respectivamente).

1. PROTEÍNAS DE LA CARNE

La parte comestible mayoritariamente corresponde a los tejidos animales que forman los músculos y que contienen proteínas de alto valor biológico, de manera que tanto la carne de mamíferos y de aves de corral, como el pescado aportan cantidades importantes de lisina, suficiente cantidad de triptofano y bajo porcentaje en metionina (Yúfera, 1979; Bourgeois *et al.*, 1982; American Meat Inst. Found, 1960).

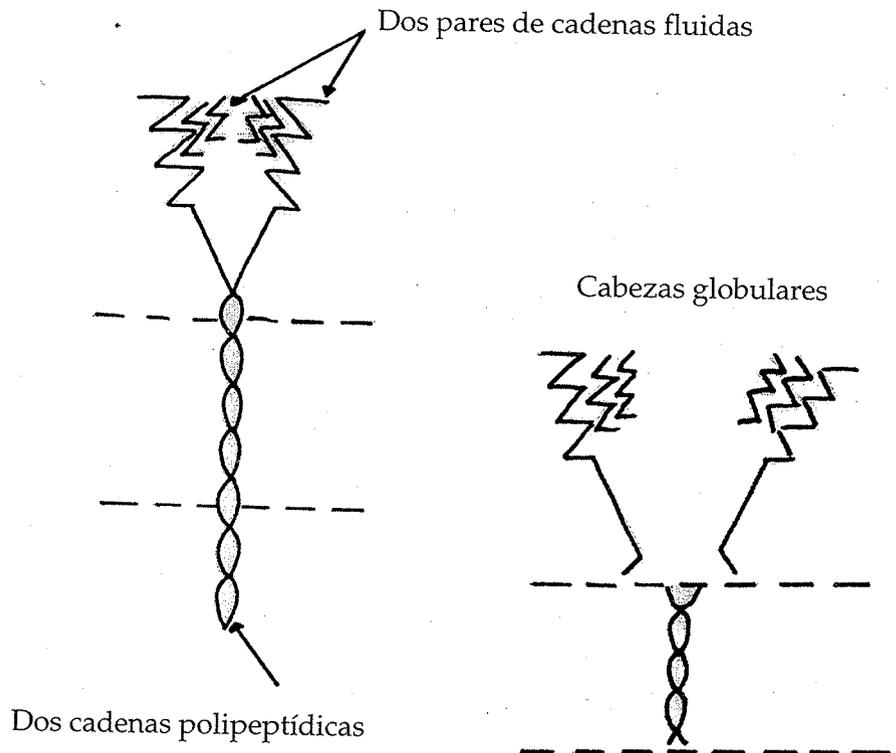
En la carne se han descrito varias proteínas, las que poseen diferentes funciones. Se las ha clasificado como *miofibrilares*, *sarcoplasmáticas* y del *estroma*.

1.1 Proteínas miofibrilares

En este grupo se encuentran:

- a) *Miosina*: Se trata de una molécula asimétrica de doble cabeza y es la única en el sentido de presentar una propiedad estructural como una enzimática, correspondiendo a una ATPasa. Se presenta como dos cadenas polipeptídicas y su configuración es helicoidal; con dos colas enrolladas entre sí y en las dos cabezas terminales estaría radicada la actividad ATPásica (Fig. 2).

Figura 2
ESQUEMA DE UNA MOLÉCULA DE MIOSINA



La miosina contiene un alto porcentaje en ácido glutámico y ácido aspártico que son los responsables del aroma de la carne (Belitz *et al.*, 1985; Cheftel *et al.*, 1992).

- b) *Actina*: Esta proteína se encuentra bajo dos formas; una globular conocida como actina G y una fibrilar, correspondiendo a la actina F. En presencia de iones bivalentes (Ca y Mg) la actina G, que es un monómero, tiende a polimerizarse, formando agregados fibrilares.

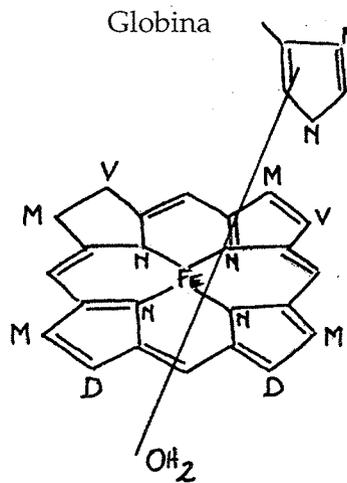
Otras proteínas que pertenecen a este grupo son: la *Tropomiosina* (4.3%) y las *Troponinas* (4.3%) que regulan la contracción muscular.

1.2 Proteínas sarcoplasmáticas

Entre estas proteínas se encuentran las enzimas mitocondriales y proteínas solubles (30%).

- a) *Mioglobina*: Corresponde al 2.5% de la proteína total de la carne y es la responsable de su color rojo. Su rol es la de servir como reservorio de oxígeno, a diferencia de la hemoglobina cuya función es la de transportar el oxígeno a los tejidos. La mioglobina es una proteína globular compuesta por una fracción proteica conocida como HEM. Ésta se halla constituida a su vez por 4 anillos de pirrol que forman un anillo porfirínico y un átomo de hierro al estado ferroso. La mioglobina forma un complejo rojo brillante con el oxígeno, originando un compuesto conocido como oximioglobina con la que se encuentra en equilibrio. Este color se observa en la carne recién cortada, tratándose de una reacción reversible; siendo una reacción de oxigenación más que una oxidación, pues el hierro se encuentra en estado ferroso. Cuando el animal muere, la carne toma un color rojo púrpura por la formación de metamioglobina en donde el hierro se encuentra en estado férrico.

Figura 3
ESTRUCTURA DE LA MIOGLOBINA



1.3 Proteínas del estroma

Entre estas proteínas se encuentran el colágeno, la elastina, la queratina y proteínas insolubles (Etherington *et al.*, 1981; Bourgeois *et al.*, 1982).

- a) *Colágeno*: El colágeno corresponde a una proteína que se encuentra en forma muy abundante en el tejido animal alcanzando entre un 25 a un 30%; abunda en huesos, tendones, cartílagos y sistema cardiovascular.

Se caracteriza por carecer del aminoácido triptofano y contener un alto porcentaje de hidroxiprolina, aminoácido no esencial. Su presencia desde el punto de vista de la calidad de un producto cárnico es índice de calidad, pues permite determinar si se ha agregado colágeno, lo que hace bajar la calidad del alimento. La presencia de colágeno se detecta determinando la cantidad de hidroxiprolina por métodos químicos y multiplicando el valor obtenido por el factor 8.

$$\% \text{ colágeno} = 8 \times \% \text{ L-hidroxiprolina (Norma ISO)}$$

La cantidad de hidroxiprolina en el colágeno oscila entre un 13 y un 14%.

El colágeno se caracteriza por presentar una gran afinidad por el agua, pero sin disolverse en ella, lo que según algunos investigadores se debería:

- a la naturaleza y estructura de las cadenas polipeptídicas.
- al número de uniones peptídicas (- CO - NH -).

Por otra parte, el colágeno, por tratamientos térmicos, produce gelatina, la que por exceso de calor y presencia de aire, puede llegar hasta una hidrólisis total, generando glucosa y glucopeptona. Otra característica del colágeno es el encogimiento que se observa en la carne por calentamiento (80 °C).

- b) *Elastina*: Esta proteína es el segundo constituyente del tejido conjuntivo; abunda en las paredes de las arterias y en los ligamentos de las vértebras. Durante la cocción en agua se hincha y se estira, pero sin disolverse. Se trata de una proteína insoluble parecida al caucho, conteniendo indicios de metionina y lisina.
- c) *Queratina*: Es una proteína que tiene más bien una acción de protección que de estructura. Se caracteriza por ser insoluble en agua y presentar un alto porcentaje de un aminoácido azufrado, la cistina, la que se encuentra en la piel (2.8-3.3%) y en el pelo (17-18%). Es, además, muy resistente a la acción de las enzimas: pepsina y tripsina.

- d) *Proteínas de la sangre*: Al sacrificar a los animales en el matadero, es común que se deje fluir la sangre de éstos, la cual podría ser recolectada bajo condiciones sanitarias adecuadas para ser usada en la alimentación, ya que presenta un alto porcentaje de proteínas. Contiene más o menos 150g de proteínas por litro, con buena distribución de los aminoácidos esenciales, lo que explica la importancia de ella, desde el punto de vista nutricional (Yáñez *et al.*, 1983). El uso más simple de este producto actualmente es en la elaboración de prietas (Bourgeois Le Roux, 1982).

2. PROTEÍNAS DE PESCADO Y MARISCOS

La carne de pescado contiene alrededor de un 15% de proteínas, dependiendo del ciclo evolutivo del pescado. Su alto valor biológico se debe al tipo y relación de los aminoácidos, presentando una alta digestibilidad.

Entre las proteínas del pescado se encuentra la miosina, en cantidad ligeramente superior a la de carne de mamíferos, 38 y 40%, respectivamente. No contiene elastina y presenta un bajo contenido de colágeno 2-4%.

El 10 al 20% de las proteínas musculares del pescado son albúminas y el 70% son globulinas, miosina, actina y actomiosina (Yúfera, 1979).

La estabilidad térmica de las proteínas de pescado es menor que la de la carne de mamífero, produciéndose con más facilidad la *desnaturalización por urea* y la hidrólisis por las enzimas tripsina y quimotripsina es mucho más rápida.

En el pescado se distinguen dos tejidos: uno claro y otro oscuro, que presentan diferente composición química, como puede observarse en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MUSCULATURA DE PESCADO

Tipo	Agua	Proteína*	Grasa	Ceniza
Tejido claro	77.4	20.4	2.1	1.25
Tejido oscuro	69.9	17.5	12.5	1.20

*(N x 6.25)

Tabla N° 4

CONTENIDO DE PROTEÍNAS EN PESCADOS Y MARISCOS

I. Pescados	Humedad g/100 g	Proteínas (Nx6.25) g/100 g
Albacora	77.0	18.9
Bacalao de profundidad	63.9	13.1
Carpa	78.5	15.7
Cojinoba	68.2	17.2
Congrio dorado	81.4	16.5
Congrio colorado	80.0	15.5
Congrio negro	81.4	15.8
Corvina	74.9	20.5
Jurel	73.0	21.9
Lenguado	78.0	18.9
Merluza	80.6	17.3
Mero	65.1	12.2
Pejegallo	76.9	21.3
Pejerrey	76.1	16.4
Reineta	75.4	19.3
Sardina española	68.4	17.1
Sierra	65.6	22.1
Trucha de cultivo	73.1	19.6
II. Mariscos		
Cholgas	81.1	14.2
Choritos	82.9	10.0
Jaibas cocidas	70.0	17.4
Langostinos congelados	73.6	23.0
Camarón congelado	72.6	23.7
Loco	71.1	21.7
Macha	71.6	15.1
Ostra	77.5	10.9
Navajuela	78.5	14.2

FUENTE: Schmidt-Hebbel, Pennacchiotti *et al.*, 1992.

3. PROTEÍNAS DEL HUEVO

El huevo sirve de alimento al hombre desde tiempos remotos. Contiene valiosos nutrientes en forma concentrada y que son de fácil absorción.

El principal componente del huevo es el agua, correspondiendo a las 3/4 partes del peso total (71.6%).

Las proteínas del huevo tienen un valor biológico de 100 y el patrón de referencia aminoacídica de FAO (12) la considera como proteína ideal.

Las proteínas de la clara de huevo difieren de las propiedades de la yema, tanto en su función biológica como en su composición química. Mientras que la propiedad funcional más importante de la clara es su capacidad de formar espuma, la importancia de la yema reside en su contribución a la estabilización de emulsiones de grasa en agua (Mc Donnell L.R. *et al.*, 1995).

3.1 Proteínas de la clara de huevo

- a) *Ovoalbúmina*: Corresponde al 54% del peso total del huevo; se trata de una glucoproteína y ha sido estudiada en forma profunda debido a su fácil separación, presentando 4 grupos -SH y residuos fosfóricos que son liberados por una fosfatasa. Es muy inestable al calor; de líquida e incolora, por acción del calor se transforma en una masa sólida y blanca.
Es una proteína que contiene un alto porcentaje de metionina y lisina, lo que se considera muy importante por tratarse de dos aminoácidos esenciales en que son deficientes la mayoría de los vegetales.
- b) *Conalbúmina*: Corresponde al 13% del peso y es una proteína que se caracteriza por presentar la capacidad de fijar el hierro de las bacterias. Sus propiedades antibacterianas se deben a lo señalado ya que al captar el hierro de ellas, éste no está disponible para el crecimiento bacteriano.
- c) *Ovomucoide*: Corresponde al 11% del peso y tiene la propiedad de inhibir la tripsina; por ello se la considera como una antiienzima. Se trata de un mucoproteído que contiene una alta concentración de ácido siálico en forma normal. Los ácidos siálicos son derivados del ácido neuramínico, el que resulta de la condensación de la D-manosamina y el ácido pirúvico. Esta proteína es resistente al calor, pero a 100 °C pierde la propiedad de inhibir la tripsina.
- d) *Ovomucina*: Corresponde al 1.5% del peso, contiene un 2% de ácido siálico y presenta propiedades de hemoaglutinación viral.
- e) *Avidina*: Es una glucoproteína y corresponde al 0.05%. Es una proteína que ha merecido mucha atención pues se trata de una antivítamina, es antibiotina. Hay que recordar que la biotina tiene una acción protectora sobre un aminoácido esencial, el triptofano, de modo que al complejarse como ella, el triptofano queda libre pudiendo sufrir modificaciones.

- f) *Lisozima*: Se trata de una proteína muy pequeña, eminentemente básica (contiene arginina, histidina y lisina). Presenta una acción antibacteriana del tipo N-acetil-muramidasa (corresponde a una carbohidrasa), que actúa sobre el muramil presente en la pared celular de las bacterias, provocando su lisis. Fue descrita por Fleming y se dice que sin lisozyma el huevo sería más perecible de lo que es; es destruida por el calor.
- g) *Flavoproteína*: Esta proteína fija, en parte, la riboflavina y es la responsable del color amarillo verdoso de la clara.
- h) *Ovoinhibidor*: Se encuentra en un 0.1% y se la describe como la fracción que es capaz de inhibir las proteasas de origen bacteriano y fungal.

3.2 Proteínas de la yema de huevo

La yema es una emulsión de grasa en agua. Está situada al centro del huevo, teniendo forma esférica y un color que va del amarillo claro al naranja fuerte. Contiene alrededor de un 30% de agua y sus proteínas se encuentran libres y combinadas.

- a) Entre las proteínas libres se encuentra la *fosvitina* que contiene alrededor de un 10% de fósforo y es soluble en agua.

Tabla N° 5
 APLICACIONES BASADAS EN LAS PROPIEDADES
 FUNCIONALES DEL HUEVO

Industria	Propiedades
Galletería y pastelería	Aromáticas Coagulantes Colorantes Emulsionantes Espesantes
Embutidos y confitería	Ligantes Ligantes Anticristalizantes Espesantes
Flanes y cremas	Aromáticas Coagulantes Colorantes
Helados	Ligantes
Mayonesas y salsas	Emulsificantes
Pastas alimenticias	Aromáticas Colorantes Ligantes

FUENTE: Bourgeois, Le Roux, 1982.

Tabla N° 6
CONTENIDO DE PROTEÍNAS EN ALGUNOS ALIMENTOS
DE ORIGEN ANIMAL

Alimentos	Proteínas* g%	Tabla**
Leche de vaca (3%) grasa	3.3	3.2
Leche semidescremada, 1% grasa	3.3	—
Leche en polvo seca descremada	36.2	40.1
Leche de cabra entera	3.6	4.0
Huevo de gallina	12.1	13.5
Clara, huevo	9.4	10.8
Yema, huevo	16.1	16.5
Huevo seco	45.2	—
Ternera asada	30.6	—
Pierna cordero asada	28.8	—
Pierna cerdo asada	29.7	—
Carne pollo asada (sin grasa)	27.2	—
Salmón hervido	25.7	—

* FUENTE: Robinson *et al.*, 1971.

** Tabla Composición Química Alimentos Chilenos, 1992.

- b) Las proteínas combinadas corresponden a proteínas unidas a lípidos; entre éstas se encuentra la *lipovitelina* y la *lipovitelinina*, que han sido separadas por cromatografía y electroforesis; 17-18% y 12-13%, respectivamente.

4. PROTEÍNAS DE LA LECHE

Las proteínas de la leche han sido estudiadas ampliamente y se han producido muchos avances, especialmente durante las últimas décadas, en el sentido de tener una mejor comprensión de su compleja composición.

Las proteínas de la leche son las que hace más tiempo y en mayor cantidad consume el hombre. La leche de vaca es la mejor conocida y su producción es la más importante, porque se usa para reemplazar la leche humana y como alimento proteico esencial para los adultos (Cheftel *et al.*, 1992).

En una leche normal el contenido promedio de proteína es de 30 a 35g por mil, lo que representa el 95% del nitrógeno total de la leche. En torno al 80% las proteínas se encuentran bajo la forma de complejas moléculas

(macro), conteniendo una parte mineral (especialmente fosfato de calcio) que se conocen como micelas.

Las caseínas están presentes fundamentalmente en esta forma y contienen hasta un 8% de minerales. Las caseínas son proteínas ácidas, por ser ricas en ácido glutámico y aspártico.

Se sabe, actualmente, que hay cuatro tipos de caseínas, cada una con un cierto número de variantes genéticas (2) y que la albúmina y la globulina constituyen un grupo complejo de ellas conocidas como proteínas del suero.

Alrededor de un 80% de la proteína de la leche es caseína. Ninguna otra proteína natural se parece a ella: un aspecto muy especial es la presencia de fósforo, correspondiendo a una fosfoproteína.

La caseína se presenta en 4 tipos llamados alfa, beta, gama y kappa caseína, que representan, respectivamente, un 50, 30, 5 y un 15%. La kappa caseína es la única que sirve como coloide protector que preserva a las micelas de la agregación; de no ser así, la leche presentaría una consistencia parecida al requesón (Patton, 1975).

Otras proteínas de la leche son la beta-lactoglobulina (0.4%) y la alfa-lactoalbúmina que contiene una proporción relativamente alta del aminoácido cisteína, que lleva un grupo -SH. Cuando se calienta la leche, estos grupos empiezan a desprenderse de la proteína (temperatura 70 °C), como sulfuro de hidrógeno responsable del aroma característico de la leche hervida.

La beta-lactoglobulina tiene una gran importancia práctica en lo relacionado con las propiedades tecnológicas de las proteínas de la leche.

Las proteínas del suero de leche representan más o menos un 20% de las proteínas de la leche; tienen un interés especial por su elevado valor nutritivo y por ser un sub-producto barato de la fabricación del queso (Braverman, 1980).

Debido a la menor disponibilidad de leche en algunos países latinoamericanos, se han realizado estudios tendientes a buscar sucedáneos de ella. Un producto que se comercializa ya en Venezuela es "La Colina", en cuya formulación se encuentra un 77% de aislado de soja y un 23% de suero de leche; además lleva un porcentaje de grasa vegetal. La mezcla de las proteínas presente en este producto es excelente y comparable a la de las proteínas de la leche. La Colina es una excelente alternativa al consumo de leche ya que contiene la misma cantidad de proteína y energía y éstas son equivalentes en calidad y disponibilidad.

Tabla N° 7
 COMPOSICIÓN PROXIMAL, VALOR ENERGÉTICO Y
 CONTENIDO DE COLESTEROL Y MICRONUTRIENTES EN LECHE
 ENTERA Y "LA COLINA" EN POLVO.

	"La Colina" en g/100g	Leche en g/100g
Proteína	26.97	26.53
Grasa	25.10	26.09
Carbohidrato (por diferencia)	38.49	38.43
Cenizas	6.99	5.47
Humedad	2.46	3.48
	en mg/100g	en mg/100g
Vitamina A	1.04	1.03
Sodio	570.3	364.4
Potasio	1.449.9	1.075.7
Calcio	1.008.3	1.020.2
Fósforo	736.4	684.1
Hierro	3.82	2.2
Zinc	3.57	3.4
Colesterol	29.55	72.3
Calorías (kcal/100g)	487.6	494.3

FUENTE: Cioccia A. *et al.*, 1994.

Capítulo IV

PROTEÍNAS DE ORIGEN VEGETAL

Los dos grandes grupos de plantas de mayor importancia en la agricultura mundial pertenecen a la familia de las *Gramíneas* (Cereales) y las *Leguminosas* de consumo humano.

Las proteínas de origen vegetal se ubican en dos clases: grupo menor y grupo mayor.

En el grupo menor se encuentran los alimentos siguientes:

- Algas (*Chlorella* 10% proteína, Luche y Cochayuyo)
- Levaduras (*Tórula utilis*, *Cándida lipolítica* con un 42 a un 62%)
- Proteínas monocelulares o bacterianas
- Residuos agrícolas, industriales
- Proteínas de hojas

En la familia de las nueces figuran:

Nuez	10.0% proteínas
Avellana	12.0
Piñón	4.5
Castaña	3.7
Almendra	18.0

En el grupo mayor se encuentran:

- Cereales
- Leguminosas
- Oleaginosas

1. PROTEÍNAS DE LOS CEREALES

Los granos de los cereales son una buena fuente de proteína para la mayoría de la población mundial, siendo consumidos en cantidades relativamente grandes en las zonas sub-urbanas. Sus cultivos varían de acuerdo a las condiciones como clima, topografía, calidad del suelo, régimen pluvial, disponibilidad de agua. Así se tiene que el arroz se cultiva de preferencia en Asia; en el norte de Europa y Rusia predomina el cultivo del centeno; en Estados Unidos, México y Centro América predomina el maíz, mientras que en Canadá, Australia y América Latina, el principal cultivo es del trigo (Aykroyd *et al.*, 1970).

Los cereales que ocupan más del 70% de la tierra cultivable del globo, proporcionan el 52% de la energía directamente ingerida por el hombre: un 11% es aportado por productos de origen animal como: carne, huevo, leche; un 10% por papas y otros tubérculos, un 10% por frutas y verduras, un 9% por grasas animales y aceites vegetales, 7% por azúcar y un 1% por pescado (Lehninger, 1985).

Las proteínas de los cereales se dividen de acuerdo a su solubilidad; así las albúminas son solubles en agua; las prolaminas lo son en alcohol de 70 °C y las glutelinas son insolubles en agua, pero solubles en ácido diluido.

Las prolaminas se desdoblán en un aminoácido, la prolina más amoníaco y reciben diferentes nombres de acuerdo al cereal de que se trate:

así, la zeína corresponde al maíz
la orzeína corresponde al arroz
la gliadina corresponde al trigo
la avenina corresponde a la avena
la hordeína corresponde a la cebada

La gliadina del trigo y la glutenina también del trigo producen en presencia de agua el *gluten*, sustancia capaz de formar una verdadera malla que retiene el gas que se produce durante la fermentación. Ambas fracciones en su forma hidratada tienen efectos diferentes sobre las características reológicas de la masa de panificación: las prolaminas son responsables preferentemente de la viscosidad y las glutelinas de la elasticidad de la masa (Belitz; Grosch, 1985).

Por otra parte, a la albúmina del trigo se la conoce como leucosina y a la globulina como edestina.

1.1 Proteínas del maíz

El maíz es una fuente pobre de proteínas para un animal monogástrico (incluyendo animales como el cerdo y el pollo), así como para el hombre. Sus proteínas no sólo son bajas en contenido (10%) sino también en calidad. La más importante deficiencia del maíz, en lo que respecta a su valor nutritivo, es su bajo contenido de lisina, aminoácido esencial que el hombre y otros animales no rumiantes no sintetizan y, por lo tanto, debe ser suministrado por los alimentos.

Luego de rigurosos estudios, en 1964, se obtuvo una variedad de maíz con alto contenido de lisina, representando una espectacular mejora como alimento con respecto al maíz normal (de 2g se elevó su contenido a 3.39g%). Este maíz se conoce como "opaco 2. Por otro lado se han realizado estudios lográndose un aumento en el contenido total de las proteínas de maíz que de un 10% subió a valores entre 12 y 15%.

Tabla N° 8

CONTENIDO DE PROTEÍNA EN CEREALES

Cereal	Proteína g/100g en peso seco
Trigo	12.2
Centeno	11.6
Cebada	10.9
Avena	11.3
Maíz	10.2
Mijo	10.3
Sorgo	11.0
Arroz	8.1

FUENTE: Cheftel *et al.*, 1992

2. PROTEÍNAS DEL AMARANTO

Entre varios recursos vegetales de Centro América y América del Sur, destaca el interés que se le ha estado dando al amaranto (*Amaranthus* spp.), cuyos productos ya eran conocidos y consumidos por las civilizaciones del pasado en la región de Latinoamérica, principalmente por los aztecas, mayas y los incas. Su producción y uso se han extendido a otras regiones del mundo, en particular en la India. Se trata de una semilla parecida a los cereales y es de alto rendimiento.

Los amarantos tienen buenas aptitudes para su utilización como hortalizas de hojas, de acuerdo a su productividad de forraje. De los

estudios químicos se deduce que presentan un alto contenido en proteínas, cenizas, fibra y además un elevado porcentaje de factores anti-nutricionales tales como saponinas y ácido oxálico. Estos resultados se han comparado con las hojas de espinaca y acelga, resultando similares las primeras e inferior el contenido de ácido oxálico (Ciappini *et al.*, 1997). La semilla de amaranto es de calidad nutricional muy superior a la de los cereales. Este recurso ofrece sus hojas como verduras, la semilla se usa como cereal y la planta entera como forraje (Bressani, 1993; Martínez N., Añon C., 1996).

La semilla contiene un promedio de 16.4% de proteína, con variabilidad entre 14-21% y es rica en los aminoácidos esenciales, lisina y triptofano, siendo limitante la leucina. La cantidad de fibra cruda varía entre 7.1 y 16.4%; en tanto la fibra insoluble oscila entre 4.6 a 13.5% y la soluble entre 1.5 y 6.5%. Su composición proximal se indica en la siguiente Tabla:

Tabla N° 9

COMPOSICIÓN PROXIMAL DE SEMILLA DE AMARANTO

Humedad	10.5 g/100g
Proteína	16.4
Lípidos	7.7
Cenizas	3.5
Fibra cruda	4.2
Hidratos de carbono	57.7

El amaranto por su elevado contenido de lisina serviría como base suplementaria de los cereales: contiene 365 mg/g N frente al Patrón de Referencia de FAO que indica 340 mg. En general, niveles de 25 a 30% de harina de semilla de amaranto agregados a 70-75% de harina de cereal,

Tabla N° 10

CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES

Aminoácidos	Amaranto mg/gN	Patrón FAO/OMS
Lisina	365	340
Metionina	120	—
Triptofano	73	60
Cistina	127	220
Treonina	236	250

mejoran la calidad del trigo, maíz, avena y arroz (Bressani, 1993) (Paredes López O. *et al.*, 1988).

La composición proximal de las hojas de amaranto se presenta en la Tabla N° 11 comparada con las hojas de acelga y espinaca.

Tabla N° 11
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS HOJAS DE
AMARANTO, ACELGA Y ESPINACA*

	Amaranto	Acelga	Espinaca
Humedad	86.9	91.2	91.8
Proteína	4.5	2.6	2.6
Grasa	0.6	0.4	0.4
Fibra cruda	1.6	0.9	0.8
Cenizas	2.4	1.6	1.8
Carbohidratos	4.0	3.3	2.6
Hierro (mg%)	24.1	6.6	3.4
Act.Vit.A (mcg%)	2.740	1.114	1.184

*g/100g

3. PROTEÍNAS DE COTILEDONES DE ALGARROBO

Las especies del género *Prosopis* crecen en las zonas semiáridas del continente americano y sus frutos han servido de alimento a los habitantes de la región y su madera como combustible.

En cuanto al contenido de proteína los diferentes investigadores indican valores que fluctúan entre 29.4 y 31.2%, presentando la variedad cultivada en Chile entre un 33.1 a 33.9%. En cuanto a la composición en aminoácidos, se ha encontrado que algunas variedades son deficientes en aminoácidos azufrados, en tanto que la variedad chilena lo es en isoleucina y treonina (Vásquez *et al.*, 1991).

4. PROTEÍNAS DE LEGUMINOSAS

Las leguminosas son sin duda las semillas que más proveen de proteínas al tercer mundo. Se caracterizan sus proteínas por ser deficientes en metionina, pero ricas en lisina. Las semillas maduras y secas de la familia Fabacea se conocen como leguminosas, nombre derivado de legumbre (la vaina que las contiene), y se han usado en la alimentación humana desde tiempos inmemoriales. Las arvejas y porotos semi-duros, aún verdes, se les considera hortalizas (FAO, 1985; Whitaker J.R. *et al.*, 1977).

Las proteínas corresponden a albúminas, globulinas y glutelinas (fracciones separadas por Osborne) (Belitz-Grosch, 1985) y se distribuyen en la forma siguiente:

Tabla N° 12
DISTRIBUCIÓN DE LAS PROTEÍNAS % EN LEGUMINOSAS

Fracciones	Soja	Maní	Arveja	Poroto	Haba
Albúmina	10	15	21	4	20
Globulina	90	70	66	67	60
Glutelina	0	10	12	29	15

El elevado contenido de globulina en las semillas indica que su función es, principalmente, fuente de proteína de reserva, la que se moviliza durante el transcurso de la germinación (Whyte, R.D., *et al.*, 1955).

No se ha encontrado en las proteínas de las leguminosas propiedades funcionales de importancia comercial comparable a la capacidad de formar masa, de las prolaminas y de las glutelinas de los cereales.

4.1 Proteínas de frejol, aluvia, chaucha o judía

El frejol (poroto) contiene las proteínas Vicina y Faseolina, ambas son globulinas. Además, contiene una albúmina conocida como Fasina, que corresponde a una hemoaglutinina. Las fitohemoaglutininas conocidas como Lectina, causan la aglomeración de los glóbulos rojos de la sangre y a veces de los leucocitos. Las lectinas de las plantas son generalmente glicoproteínas que contienen alrededor de un 5% de carbohidratos. Las leguminosas (alrededor de 600 especies) contienen lectinas entre el 2 y el 10% de la proteína total (Robinson, 1991).

4.2 Proteínas de haba, arveja, lenteja y garbanzo

En estas leguminosas, se encuentran proteínas del tipo de las globulinas.

4.3 Proteínas del poroto de soja

La *Glycina hispida* corresponde a una oleaginosa que contiene un alto porcentaje de materia grasa. Luego de la extracción del aceite queda una torta muy rica en proteína; ésta se la conoce con el nombre de glicinina, que es parecida a la caseína de leche, pero se diferencia de ella por no contener fósforo.

Tabla N° 13

CONTENIDO DE PROTEÍNAS EN LEGUMINOSAS

Leguminosas	Proteína (Nx6.25) g/100g
Arveja seca	22.4
Arveja, harina cruda	23.6
Arveja, harina precocida	21.1
Frejol crudo	20.6
Frejol cocido	9.7
Garbanzo crudo	18.2
Garbanzo cocido	6.6
Haba cruda	24.7
Lenteja cruda	24.0
Lenteja cocida	7.4
Lenteja, harina cruda	32.8

FUENTE: Schmidt-Hebbel., Pennacchiotti *et al.*, 1991).

Altramuz	34.0
Maní	24.3
Colza	20.0
Soja	36.0
Maravilla o girasol	25.7

FUENTE: Robinson, 1992.

Actualmente, las fuentes no convencionales más usadas a nivel mundial son las proteínas de la soja, siendo Estados Unidos, Brasil y China los principales países productores de ella.

Tabla N° 14

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA HARINA DE SOJA

Humedad	7.5 g/100g
Proteínas (Nx6.25)	30.1
Lípidos	0.6
Cenizas	6.0
Fibra cruda	2.1

FUENTE: Yúfera, 1979.

Además de la harina desgrasada de soja, se han desarrollado dos preparados proteicos: el concentrado proteico de soja (CPS) y las proteínas aisladas de soja (PAS).

La preparación del concentrado de proteína de soja se realiza a partir de la harina desgrasada, extrayendo los hidratos de carbono y otras sustancias solubles con alcohol acuoso; contiene 70% de proteína en base seca y se encuentra en el comercio para su uso en productos cárnicos.

La preparación de aislado de proteínas de soja se basa en tratar la harina desgrasada de soja con una solución salina y luego acidificando el extracto hasta pH 4.6 para coagular las proteínas (Steven Joung, 1996). Éstas contienen 90% de proteína en base seca. Estos aislados son productos altamente funcionales; al sustituir una producción de proteína de carne soluble, estabilizan emulsiones y contribuyen a asegurar el mantenimiento estructural en carnes cocidas terminadas (Young Steven, 1996).

Tabla N° 15
COMPOSICIÓN DE PREPARADOS DE
PROTEÍNA DE SOJA

	CPS	PAS
Humedad	2.6 - 8.0	3.9 - 7.0
Proteínas (Nx6.25)	70.0 - 72.6	90.0 - 97.7
Lípidos	0.32 - 2.0	0.2 - 1.2
Fibra cruda	2.9 - 5.0	0.01 - 0.2
Cenizas	3.0 - 5.8	2.5 - 4.5

FUENTE: Yúfera, 1979

Las proteínas de la soja son ricas en aminoácidos esenciales, siendo el contenido de lisina de gran importancia (55-56 mg/g de proteína), ya que al mezclarlas con los cereales complementan la deficiencia de éstos en lisina.

Otros productos de la soja son:

Proteínas fibriladas que se obtienen como polvos de forma fibrosa, masticables, de consistencia parecida a la carne y contienen alrededor de 50% de proteínas. Se usan para elaborar productos de textura semejante a la carne, en embutidos, hamburguesas, etcétera.

5. PROTEÍNAS DE HORTALIZAS, FRUTAS Y PRODUCTOS DERIVADOS

Bajo la denominación de hortalizas se comprende aquella parte de los vegetales que al estado fresco, sin desecar al aire, crudos, cocidos, conservados o preparados de diferentes formas, sin extracción de componentes esenciales, se usan directamente para el consumo humano, con excepción de las frutas procedentes de los árboles frutales (Belitz-Grosch, 1985).

5.1 Hortalizas

Las hortalizas contienen como término medio 1-3% de compuestos nitrogenados, de los cuales el 35 al 80% son proteínas y el resto corresponde a aminoácidos, péptidos y otros compuestos. La fracción proteica se compone en su mayor parte de enzimas que en la manipulación y preparación de ellas pueden jugar un rol positivo o negativo. Así, por un lado participan en la formación de los aromas típicos y por otro son responsables de la producción de aromas no deseados, alteración tisular y modificaciones del color.

Las hortalizas contienen enzimas correspondientes a todos los grupos principales de ellas como óxido-reductasas, fenoloxidasas, peroxidasas: hidrolasas como las glicosidasas, esterasas, proteasas: ligasas como la glutamina-sintetasa.

5.2 Frutas, frutos secos y productos derivados

Las frutas contienen entre un 0.1 y 1.3% de compuestos nitrogenados. De ellos las proteínas constituyen un 35-75%; los aminoácidos se encuentran bien representados. La mayor parte de la fracción proteica está constituida por enzimas, entre ellas: pectinoesterasas, celulasas, amilasas, lipasas, fosforilasas, etc. (Belitz, Grosch, 1985).

Los frutos secos presentan más o menos 20% de componentes nitrogenados y un 50% de lípidos.

6. ALGAS

Las algas son otra fuente potencial de proteínas, que en un principio podrían ser una solución para la alimentación futura de la humanidad. Las algas fotosintéticas fijan el CO₂ y la energía solar y realizan la síntesis de materia orgánica a velocidades que son cientos de veces mayores que las de las proteínas superiores. Se ha trabajado mucho en el desarrollo del

alga unicelular Chlorella en cultivos líquidos, pero hasta el momento han fracasado pues los alimentos producidos son demasiado caros, poco apetitosos y de bajo valor nutritivo.

Tabla N° 16
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALGAS SECAS

	Cultivadas en medio	
	Autotrofo*	Heterotrofo**
Proteínas	55-65	40-45
Carbohidratos	15-30	45-50
Grasas	4-7	3-5
Cenizas	8-9	4-5
Fibra	1-2	1.5-4
Humedad	4-5	3-4

FUENTE: Yúfera, 1979.

*Autotrofo: medio que contiene como única fuente de carbono el CO₂.

**Heterótrofo: medio que lleva compuestos químicos orgánicos (azúcar, proteínas).

Capítulo V

PROTEÍNAS NO CONVENCIONALES

1. PROTEÍNAS DE ORIGEN MICROBIANO

Algunos microorganismos se desarrollan en hidrocarburos, los que al crecer, sintetizan proteínas, ricas en aminoácidos deficitarios en las proteínas vegetales.

La producción de proteínas a cargo de microorganismos a partir de compuestos hidrocarbonados no es, naturalmente, una idea nueva. Durante muchos años la producción de levadura para alimentos de uso animal, e incluso para humanos, ha sido una industria apreciable aunque pequeña. La capacidad de producción de levaduras sobre hidrocarburos es el doble que sobre los azúcares; en condiciones favorables 1 kg de hidrocarburos produce 1 kg de levadura, mientras que 1 kg de azúcar proporciona sólo 1/2 kg de levadura. Las proteínas producidas mediante fermentación de petróleo no difieren en algún aspecto esencial de las obtenidas por cualquier otro proceso natural, es decir, ganado, aves,

Tabla N° 17

CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS DE LEVADURA SECA

Aminoácido	%
Alanina	6.0
Cistina	0.2
Leucina	6.3
Lisina	6.5
Metionina	1.2
Triptofano	1.4
Fenilalanina	3.9
Treonina	4.1
Tirosina	2.4
Valina	5.1

FUENTE: Gutiérrez, C. 1993.

pescado y vegetales. Son ricas en vitaminas del complejo B y presentan un bien equilibrado patrón aminoacídico. Contienen un alto porcentaje de lisina, que las convierte en un útil complemento de los cereales pobres en este aminoácido (Gutiérrez, 1993).

Estas proteínas desarrolladas sobre petróleo, una vez secadas y purificadas, se presentan como polvo o escamas blanquecinas, inodoras y sin sabor pronunciado. Su primer uso ha sido como alimento para ganado (Frutton, 1975).

2. DESECHOS INDUSTRIALES

En la elaboración de concentrados de tomate se producen pérdidas por concepto de semillas, cáscara, tamizado de pulpa. En las semillas se ha señalado que contienen un alto porcentaje de lisina. En cuanto al contenido de proteínas ésta oscila entre un 20.8 y un 30%.

3. PROTEÍNAS DEL SUERO DE LECHE

El suero es un subproducto de la industria del queso. El suero retiene más o menos el 55% de los nutrientes de la leche y contiene proteínas solubles como la lactoalbúmina y la lactoglobulina. En la actualidad el suero fresco es desgrasado, pasteurizado y posteriormente concentrado y seco. Se usa incorporado a helados, margarina, manjar, yogur y en alimentos infantiles. El mayor interés de la proteína del suero se presenta en la elaboración industrial de una serie de productos denominados concentrados proteicos de suero. Estos productos contienen hasta un 75% de proteínas y un 3.5% de lactosa (Yáñez *et al.*, 1983).

4. OKARA

Es un ingrediente alimenticio rico en proteínas y fibras. Es el subproducto de la extracción acuosa del grano de soja y sería una alternativa como fuente de estos dos componentes de nuestros alimentos.

Por su alto contenido en lisina presenta propiedades para complementar con proteínas de cereales y como fuente de fibra en la elaboración de productos cárnicos (Villarrol, M., Rossi, A. *et al.*, 1997).

Tabla N° 18
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE OKARA

	<u>g/100 g.s.s</u>
Proteína*	38.07
Fibra	39.8
Calcio	376 mg
Potasio	929.3 mg
Sodio	141.1 mg
Zinc	8.9 mg

*(42.1 mg de lisina disponible/g de proteína)

Capítulo VI

PROTEÍNAS TEXTURIZADAS

Numerosas proteínas vegetales poseen estructuras globulares y pese a su abundancia tienen una aplicación limitada en la tecnología alimentaria. En el curso de estudios para aumentar el campo de aplicación de las proteínas vegetales se desarrolló a partir de mediados de los años cincuenta una serie de procesos para transformar las proteínas globulares en proteínas fibrilares.

Mediante técnicas adecuadas se obtuvieron productos resistentes a la cocción, con textura semejante a la carne que pueden utilizarse como material de relleno ("meat extender") o sustitutivos de la carne ("meat analog") o en general donde se desee una estructura desmenuzable en terrones.

Fuentes de proteínas para la obtención de productos texturizados son por ejemplo: la soja, caseína, gluten de trigo, semillas de algodón, cacahuete, sésamo, girasol, proteínas de suero lácteo, plasma sanguíneo, despojos de mataderos tales como pulmón, estómago.

En el proceso de texturización se produce por ruptura de los enlaces intramoleculares el despliegue de las cadenas peptídicas estiradas, mediante creación de enlaces intermoleculares (Belitz, Grosch, 1985).

PROTEÍNAS TÓXICAS

Durante el año 1997 Inglaterra asombró al mundo al darse a conocer un mal que afectaba a las vacas produciendo la muerte de ellas.

El neurólogo norteamericano Stanley B. Prusiner, a través de sus estudios encontró que la demencia no era producida ni por bacterias, ni virus, sino por lo que él denominó "Priones" (proteinaceous infection particles) integrando así los términos de "proteína" e "infección". Se trata en efecto, de *glico-proteidos*, exentos de ácidos nucleicos, ni ADR, ni ARN, carentes de información genética.

Los priones están implicados en patologías que pueden afectar varias especies animales y al hombre y se caracterizan por provocar un profundo daño del tejido cerebral, después de un largo período de incubación.

En bovinos se produce una descoordinación total en sus movimientos, lo que ha originado el nombre de "vacas locas". La sigla BSE (**B**ovine **S**pongiforme **E**ncephalopathy) proviene de su último síntoma una degeneración esponjosa del cerebro, comprobable por vía microscópica del animal muerto (International Div. Newsletter, 1997; Merck Informa, 1997).

En este contexto dos hechos motivaron la aparición masiva de esta infección en Inglaterra; fabricantes prepararon forraje para vacunos de "especial valor nutritivo y rendimiento" por adición fraudulenta de harina de cadáveres de ovejas australianas, infectadas. La otra causa de la contaminación se debió al hecho de querer ahorrar costos, rebajando la temperatura y la presión para la adecuada esterilización de este forraje, pues los priones son bastante resistentes al calor (Pöldinger, 1996).

Por estas investigaciones el Dr. Prusiner obtuvo el Premio Nobel de Medicina del año 1997.

Capítulo VII

VALOR NUTRICIONAL DE LAS PROTEÍNAS

Los niveles de proteínas propuestos son aquellos considerados como necesarios para mantener la salud y las necesidades fisiológicas de la mayor parte de los individuos de un grupo de población (Robinson, 1991).

Tabla N° 19

INGESTA PROTEICA DIARIA RECOMENDADA
POR FAO/OMS/UNU (1985)

Edad (años)	Nivel de seguridad (g prot/kg por día)
Lactantes y niños	
0.25 - 0.5	1.86
0.75 - 1.0	1.48
2 - 3	1.13
9 - 10	0.99
Adolescentes (Varones)	
10 - 11	0.99
14 - 15	0.96
17 - 18	0.86
Adultos	0.75

Durante la lactancia se recomienda una ingesta proteica diaria adicional de 16g. Sin embargo, las necesidades reales son de alfa aminoácidos y por tanto la composición en aminoácidos de las proteínas de la dieta es extremadamente importante.

Las necesidades de aminoácidos se indican en la Tabla N° 20.

Tabla N° 20

NECESIDADES DE AMINOÁCIDOS SUGERIDAS POR LA FAO/OMS/UNU+

Aminoácidos (mg/g de proteína bruta)	Necesidades requeridas			
	Lactantes Media (rango)++	Preescolares (2-5 años)	Edad escolar (10-12)	Adultos
Histidina	26 (18-36)	19	19	16
Isoleucina	46 (41-53)	28	28	13
Leucina	93 (83-107)	66	44	19
Lisina	66 (53-76)	58	44	16
Metionina + cistina	42 (29-60)	25	22	17
Fenilalanina + tirosina	72 (68-118)	63	22	19
Treonina	43 (40-5)	34	28	9
Triptófano	17 (16-17)	11	9	5
Valina	55 (44-77)	35	25	13
Total:				
Incluyendo la histidina	460 (408-588)	339	241	127
Sin incluir la histidina	434 (390-552)	32	222	111

(+FAO/WHO/UNU, 1985).

++ Composición de aminoácidos de la leche de mujer.

Para los adultos, los niveles seguros van de 0.75 g/kg; niños (10-12 años) 0.99 g/kg; niños (2-5 años) 1.10 g/kg (Se ha elegido este rango de edades porque coincide con el rango de edades de las personas a partir de las cuales se han obtenido los datos. Las necesidades de aminoácidos de los niños entre 1 y 2 años pueden ser intermedias entre las de los lactantes y los preescolares).

El consumo de proteínas presenta ventajas y algunas desventajas. Entre las primeras se mencionan que son esenciales para la mayoría de las funciones vitales del organismo, incluyendo el desarrollo y el mantenimiento de las células.

Entre las desventajas se puede señalar que ingerir demasiadas proteínas puede sobrecargar el hígado y los riñones ocasionando la producción de orina ácida, que puede provocar una pérdida de calcio de los huesos, aumentando el riesgo de osteoporosis.

Los nutricionistas recomiendan que se obtenga entre el 10 y el 15% de la energía a partir de las proteínas, un 20 a un 25% de las grasas y un 55 a 60% de los hidratos de carbono. Si el consumo de grasas o de hidratos de carbono es insuficiente para satisfacer sus necesidades de energía, las proteínas del organismo serán descompuestas para ser utilizadas como fuente de energía.

El hombre común o un adolescente de sexo masculino necesita más o menos 55g de proteínas al día, que pueden obtenerse de una ración por

ejemplo de 220g de pollo magro o de 250g de trucha cocida al vapor. La mujer normal o joven adolescente requiere alrededor de 45g de proteína al día, en tanto que un niño entre 7 y 10 años unos 28g al día (Reader's Digest, 1996).



REFERENCIAS

1. AMERICAN MEAT INSTITUTION FOUNDATION (1960). The Science of Meat and Meat Products.
2. AYKROYD, W.R., DOUGHTY, J. (1970). Wheat in Human Nutrition. FAO, Roma.
3. BELITZ, H.D., GROSCH, W. (1985). Química de los Alimentos, 2ª Ed. Zaragoza, España.
4. BOURGEOIS, C.M., LE ROUX, P. (1982). Proteínas animales.
5. BRAVERMAN, J.B.S (1980). Introducción a la Bioquímica de los Alimentos. 2ª Ed. El Manual Moderno, S.A: México.
6. BRESSANI, R. (1993). El amaranto como planta que ofrece grandes posibilidades de utilización agroindustrial. Alimentos Vol. 18 N° 1, Santiago-Chile.
7. CIAPPINI, M.C., TOSI, E.A., NASCARELLI, R. (1997). Utilización del follaje de amaranto para consumo humano. Libro Resúmenes X Seminario ALACCTA, Buenos Aires-Argentina.
8. CIOCCIA A., PIÑERO D., CARIAS B., BRITO D., WAGGIE Y., HEVIA P. (1994). Estudio nutricional de un alimento a base de proteínas de soja, lactosuero y aceite vegetal. Información Tecnológica, Vol. 5 N° 1. La Serena-Chile.
9. CHEFTEL J.C., DUQ V.L., LORIEN D. (1992). Proteínas alimentarias. Propiedades funcionales. Valor nutritivo. Modificaciones químicas.
10. ETHERINGTON D.J. *et* SINS T.J. (1981). Detection and estimation of collagen. J.Sc.Food Agriculture.
11. FAO/OMS/UNU (1985). Necesidades de aminoácidos.
12. FAO (1968). Aminoacids content of foods and biological data on proteins.
13. FENEMA, R.O. (1985). Food Chemistry, 2ª Ed.
14. FRUTTON S.J. (1975). Los alimentos: cuestión de Bromatología. Seleccionaciones de Scientific American Ed. Hermann Blume, Madrid-España.
15. GRITTON E.T., POMERANZ Y., ROBBINS, G.S. (1975). J. of Food Science, 40.
16. GUTIÉRREZ C. (1993). Optimización en la producción de extracto de levadura autolizada. Tesis de Magister en Ciencia de la Ingeniería. Universidad Católica de Valparaíso.

17. INTERNATIONAL DIVISION NEWSLETTER (1997). Inst. of Food Technologists.
18. KING, R.D. (1978). Developments in Food Analysis Techniques 1, London.
19. LEVERTON, R.M. and ODELL, G.U. (1985). The nutritive value of cooked meat: Oklahoma Agric. Exp. Stab.
20. LEHNINGER A.L. (1985). Bioquímica X Ed. Barcelona-España
21. LUND D. (1975). Heat Processing. Physical Principles of Food Preservation. Ed. Marcel Dekker, N. York.
22. MARTÍNEZ E.N., AÑON M.C. (1996). Composition and structural characterization of Amaranth Protein Isolates. Electrophoretic and calorimetric study. J. of Agr. and Food Chemistry Vol. 44, N° 9.
23. M.C. DONNELL, L.R. FEERREY, R.E. HANSON H.L. *et al.* (1995), The functional properties of the egg white proteins. Food Technology 9, 49-53.
24. MERCK INFORMA (1997) N° 40.
25. NORMA ISO 3496.
26. PAREDES-LÓPEZ, O., MORA ESCOBEDO, R., ODORICA-FALOMIR, C. (1988). Isolation of amaranth protein. Lebensm. Wiss. Technol, 21, 59-61.
27. PAULING, L., COREY, S.B. (1955). Biochem. Biophy Acta 16,5.
28. PATTON, S. (1975). Los alimentos: cuestión de Bromatología. Ed. Hermann Blume. Madrid-España.
29. PENNACCHIOTTI, M.I. (1994). Las proteínas como componentes de los alimentos. Alimentos N° 1, Vol. 9, Santiago-Chile.
30. PENNACCHIOTTI, M.I. (1994). Las enzimas como indicadores de procesos de conservación de alimentos y como reactivos de laboratorio. Alimentos Vol. 16, N° 1.
31. PINTAURO, D., NICHOLAS (1979). Food processing enzymes. Recent Developments Moyes Data Corporation.
32. PÖLDINGER. W. (1996). Der Mediziner N° 4.
33. READER'S DIGEST (1996). Alimentos que curan. Alimentos que matan. División libros en lengua española. Reader's Digest Association Limited. London-Inglaterra.
34. ROBINSON S., DAVID (1991). Bioquímica. Valor nutritivo de los alimentos. Ed. Acribia. España.
35. ROBINSON D.S., MONSEY, J.B. (1971). Studies on the composition of egg white ovomucin. Biochemistry J., 121, 537-547.
36. RONSIVALLI, LOUIS J., VIEIRA E.R. (1992). Elementary Food Science.

37. SCHMIDT-HEBBEL H. (1981). Avances en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Santiago-Chile.
38. SCHMIDT-HEBBEL H., PENNACCHIOTTI, M.I. (1982). Las enzimas en los alimentos. Su importancia en la química y tecnología de los alimentos.
39. SCHMIDT-HEBBEL, H., PENNACCHIOTTI M.I., MASSON S.L., MELLA M.A. (1992). Tabla de composición química de los alimentos chilenos. Santiago-Chile.
40. SCHULTZ, H.W., ANGLEMEIR, A.F. (1960). Symposium Food Enzyme. AVI Publishing Company, Inc.
41. SCHULTZ. H.W. (1960). Food Enzyme. AVI Publishing Company Inc.
42. UNDERKOFER, L.A. (1961). Production and application of enzyme. Preparations in food manufacture. London-England.
43. VÁSQUEZ M., ZACARÍAS I., ESCOBAR, B., YÁÑEZ E. (1991). Calidad biológica de la proteína de los cotiledones de algarrobo tratados por calor seco y calor húmedo. Alimentos, Vol. 16 N° 1.
44. VILLARROEL, M., ROSSI, A., SAMAN N., KUBYLAŃSKI (1997). El Okara, un ingrediente. Libro Resúmenes X Seminario ALACCTA, Buenos Aires-Argentina.
45. WHITAKER, J.R TANNENBAUM, S.R. (1977). Food Proteins. AVI Publishing Com. Inc.
46. WHYTE, R.O. TRUMBLE, H.C. (1955). Las leguminosas en la agricultura ONU/FAO.
47. YÁÑEZ E., *et al.* (1983). Las proteínas en la nutrición y en la industria. Santiago-Chile.
48. YOUNG, STEVEN (1996). Soja noticias. Publ. de la Asoc. Americana de soja.
49. YUFERA, PRIMO E. (1979). Química Agrícola III Alimentos.

ÍNDICE DE MATERIAS

<i>Prólogo</i>	<i>Págs.</i> 5
<i>Introducción</i>	7

Capítulo I

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS PROTEÍNAS

1. ¿Qué son las proteínas?	11
2. Conformación de las proteínas	12
2.1 Proteínas fibrosas	12
2.2 Proteínas globulares	12
3. Clasificación de las proteínas	12
3.1 Proteínas simples	12
3.2 Proteínas conjugadas	13
4. Estructura de las proteínas	13
Estructura primaria	14
Estructura secundaria	14
Estructura terciaria	15
Estructura cuaternaria	15
5. Unidades estructurales de las proteínas	16
Los aminoácidos	16
6. Propiedades generales de los aminoácidos	16
Estructura general y clasificación	16
a) Aminoácidos esenciales	17
b) Aminoácidos no esenciales	17
7. Desnaturalización de las proteínas	18
7.1 Agentes físicos	20
7.2 Agentes químicos	21
Reacciones de las proteínas durante la preparación de los alimentos	21
Propiedades de las proteínas en los alimentos	22

Capítulo II
LAS ENZIMAS

1. Definición y clasificación de las enzimas	23
1.1 Oxidorreductasas	23
1.2 Transferasas	24
1.3 Hidrolasas	24
1.4 Liasas	24
1.5 Isomerasas	24
2. Inactivación de las enzimas	24
2.1 Agentes desnaturalizantes químicos	24
2.2 Agentes desnaturalizantes físicos	25
Hitos en la evolución del conocimiento de las enzimas	26
3. Aplicaciones de las enzimas	27
3.1 Como indicadores del estado higiénico y de conservación de los alimentos	28
3.2 Como control de procesos tecnológicos en alimentos	28
3.3 Como reactivos de laboratorio	28

Capítulo III
PROTEÍNAS DE ORIGEN ANIMAL

1. Proteínas de la carne	31
1.1 Proteínas miofibrilares	31
1.2 Proteínas sarcoplasmáticas	33
1.3 Proteínas del estroma	34
2. Proteínas de pescados y mariscos	35
3. Proteínas del huevo	36
3.1 Proteínas de la clara	37
3.2 Proteínas de la yema	38
4. Proteínas de la leche	39

Capítulo IV
PROTEÍNAS DE ORIGEN VEGETAL

1. Proteínas de los cereales	44
1.1 Proteínas del maíz	45
2. Proteínas del amaranto	45
3. Proteínas de cotiledones de algarrobo	47

4. Proteínas de leguminosas	47
4.1 Proteínas de frijol, aluvia, chaucha o judía	48
4.2 Proteínas de haba, arveja, lenteja y garbanzo	48
4.3 Proteínas de poroto de soja	48
5. Proteínas de hortalizas, frutas y productos derivados	51
5.1 Hortalizas	51
5.2 Frutas, frutos secos y productos derivados	51
6. Algas	51

Capítulo V
PROTEÍNAS NO CONVENCIONALES

1. Proteínas de origen microbiano	53
2. Desechos industriales	54
3. Proteínas del suero de leche	54
4. Okara	54

Capítulo VI
PROTEÍNAS TEXTURIZADAS Y PROTEÍNAS TÓXICAS

Proteínas texturizadas	57
Proteínas tóxicas	57

Capítulo VII
VALOR NUTRICIONAL DE LAS PROTEÍNAS

Ingesta proteica diaria recomendada por FAO/OMS/ONU	59
Necesidades de aminoácidos sugeridas por la FAO/OMS/ONU ..	60

<i>Referencias</i>	63
<i>Índice de Materias</i>	67