



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FUNCIONAL
DE LA CLARA DESHIDRATADA DE HUEVO DE CODORNIZ
(*Coturnix coturnix japonica*)”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

ROBERTO PÉREZ HERNÁNDEZ

DIRECTORES DE TESIS:

M. C. JESÚS GODOFREDO LÓPEZ LUNA

Dr. LUIS ANTONIO CHEL GUERRERO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. ENERO DEL 2004.

Este trabajo se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Química de la Universidad Tecnológica de la Mixteca y en el Laboratorio de Ciencia de los Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán.

DEDICATORIAS

A Dios por darme la vida y la fortaleza para poder alcanzar todos mis sueños esperando que éste sea solo uno de tantos.

A mis padres Roberto y Flor de María quienes con su ejemplo, sacrificio y amor me han guiado en la vida y cuando se han complicado las cosas sus consejos y apoyo únicos me han servido para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por apoyarme en mis estudios y la realización de esta tesis, por sus sacrificios y todo lo que me han dado.

Al M. C. Jesús López Luna por ser un gran maestro, por ser además mi amigo y guiarme en la realización de esta tesis.

Al Dr. Luis A. Chel Guerrero por su invaluable conocimiento, apoyo incondicional en la realización de esta tesis y sobre todo por ser un gran amigo.

A la Q.F.B. Juana Ramírez Andrade y Dra. Ma. Anaberta Cardador Martínez por sus consejos en la etapa final de esta tesis.

A la Universidad Tecnológica de la Mixteca por forjarme moral y académicamente.

A la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán por las facilidades otorgadas.

A mis tíos Dr. Gerardo Pérez Lescas y Guadalupe Noval de Pérez por su apoyo incondicional.

A mis hermanos Hugo, César, Florecita y Selene por su cariño y apoyo, esperando ser un ejemplo para ellos y ser mejores cada día.

A Aleyda por su amor, apoyo y alegría, YTVLV.

Al M. V. Z. Julio J. Cruz Aragón y esposa por su amistad y apoyo brindado.

Al M.C. Santiago Gallegos Tintoré por su apoyo y amistad brindada durante la realización de esta tesis.

A todos mis maestros que durante la carrera me ofrecieron su conocimiento y amistad necesarios para ser un profesional.

A mi abuelita Amelia Sánchez Olivera por su cariño.

A la memoria de mis abuelitos Soledad, Rodolfo y Graciela.

A mi tío Julio César Hernández Sánchez ya que gracias a él escogí mi vocación.

A Hugo, Pavlov, Itzel y Lucy por ser mis compañeros y amigos y hacer de esta etapa una de las mejores de mi vida.

A Neri, David, Giovanni, Fer, Adán y Felipe por ser mis amigos incondicionales.

A todos aquellos que directa e indirectamente me apoyaron durante mi carrera y la realización de este proyecto.

INDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
II.1 Generalidades de la codorniz japonesa.	2
II.2 Huevo.	2
II.2.1 Generalidades.	2
II.2.2 Estructura.	3
II.2.3 Composición química del huevo.	5
II.2.4 Proteínas.	5
II.2.5 Proteínas de la clara de huevo de gallina.	8
II.3 Propiedades funcionales.	12
III. OBJETIVOS	16
III.1 Objetivo general.	16
III.2 Objetivos específicos.	16
IV. METODOLOGÍA	17
IV.1 Obtención de la clara deshidratada por convección de aire caliente.	17
IV.2 Caracterización fisicoquímica.	17
IV.2.1 Composición proximal.	17
IV.2.2 Análisis electroforético en condiciones desnaturalizantes (SDS-PAGE).	18
IV.2.3 Temperaturas y entalpías de desnaturalización.	18
IV.3 Caracterización funcional.	19
IV.3.1 Capacidad de absorción de agua (CAA) y aceite (CAAc).	19
IV.3.2 Capacidad espumante (CE) y estabilidad de espuma (EE).	19
IV.3.3 Actividad emulsificante (AEm) y estabilidad de la emulsión (EEm).	19
IV.4 Digestibilidad <i>in vitro</i> .	20
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	21
V.1 Caracterización fisicoquímica.	21
V.1.1 Composición proximal.	21
V.1.2 Análisis electroforético en condiciones desnaturalizantes (SDS-PAGE).	22

	Página
V.1.3 Temperaturas y entalpías de desnaturalización.	24
V.2 Caracterización funcional.	26
V.2.1 Capacidad de absorción de agua y aceite.	26
V.2.2 Capacidad espumante y estabilidad de espuma.	28
V.2.3 Actividad emulsificante y estabilidad de la emulsión.	34
V.3 Digestibilidad <i>in vitro</i> .	37
VI. CONCLUSIONES	39
VII. RECOMENDACIONES	40
VIII. ANEXOS	41
IX. REFERENCIAS	43

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Análisis comparativo de los componentes estructurales del huevo de gallina y codorniz.	3
Cuadro 2. Análisis comparativo de la composición química del huevo de gallina y codorniz.	5
Cuadro 3. Composición proximal (%B.S.) de las claras de huevo de codorniz deshidratadas a diferentes condiciones de secado.	21
Cuadro 4. Temperaturas y entalpías de desnaturalización de las muestras deshidratadas.	24
Cuadro 5. Capacidad de absorción de agua (CAA) y aceite (CAAc) de las muestras deshidratadas.	26
Cuadro 6. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la clara deshidratada de huevo de codorniz.	37

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Dimensiones del huevo de codorniz.	3
Figura 2. Patrón electroforético (SDS-PAGE) de las muestras M1, M2, M3 y M4 (A) y de la muestra ML (B).	22
Figura 3. Efecto del pH sobre la capacidad espumante de la clara deshidratada de huevo de codorniz.	28
Figura 4. Estabilidad de la espuma de la clara deshidratada de huevo de codorniz, muestras M1(A) y M2 (B).	30
Figura 5. Estabilidad de la espuma de la clara deshidratada de huevo de codorniz, muestras M3 (A) y M4 (B).	31
Figura 6. Estabilidad de la espuma de la clara liofilizada (ML) de huevo de codorniz.	32
Figura 7. Efecto del pH sobre la actividad emulsificante de la clara deshidratada de huevo de codorniz.	34
Figura 8. Efecto del pH sobre la estabilidad de la emulsión de la clara deshidratada de huevo de codorniz.	36

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Nombre
? H	Entalpía de desnaturalización
x g	Ges (unidad de fuerza centrífuga)
AEm	Actividad emulsificante
b.s	Base seca
CAA	Capacidad de absorción de agua
CAAc	Capacidad de absorción de aceite
CBD	Calorimetría de barrido diferencial
CE	Capacidad espumante
EE	Estabilidad de la espuma
EEm	Estabilidad de la emulsión
kDa	Kilodaltones
mA	Miliamperes
p/v	relación peso / volumen
PM	masa molecular relativa
rpm	Revoluciones por minuto
SDS	Dodecil Sulfato de Sodio
SDS-PAGE	Electroforesis en geles de poliacrilamida en condiciones desnaturalizantes
SH	Grupo sulfhidrilo
Td	Temperatura de desnaturalización
TEMED	N, N, N',N' Tetrametiletlenodiamida

RESUMEN

La clara deshidratada de huevo de gallina es utilizada como ingrediente funcional en diversos alimentos debido a las propiedades que presenta, pero dado su costo elevado, actualmente existen esfuerzos por desarrollar e innovar sustitutos de bajo costo con características semejantes, siendo una alternativa la utilización de clara deshidratada de huevo de codorniz.

En el presente estudio se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la clara de huevo de codorniz deshidratada por convección de aire caliente a las condiciones M1 (65°C, 3.5 h), M2 (65°C, 5.0 h), M3 (70°C, 3.5 h) y M4 (70°C, 5.0 h), empleándose como referencia clara liofilizada (ML) de la misma fuente. Las muestras deshidratadas por convección de aire caliente presentaron valores de humedad entre 6.16 y 7.42%, y un contenido de proteína entre 92 y 93%. En el análisis electroforético SDS-PAGE de todas las muestras se observaron fracciones de lisozima (20.7 kDa), ovoalbúmina (45 kDa) y conalbúmina (80 kDa). La fracción ovoinhibidor (50 kDa) solamente se observó en ML, por lo que se puede pensar que el tratamiento térmico causó la agregación de este factor antinutricio. Las Td de todas las muestras (81-83°C) fueron similares a la de la ovoalbúmina de huevo de gallina (84.5°C). De todas las muestras deshidratadas por convección de aire caliente, la M1 presentó el mayor valor de ΔH (7.79 J/g) siendo el más cercano al ΔH de ML (9.08 J/g).

Las muestras M3 y M4 presentaron la mayor capacidad de absorción de agua (2.65-2.95 g/g muestra). La capacidad de absorción de aceite fue semejante en todas las muestras (0.92-1.01g/g muestra). La mayor capacidad espumante fue propia de la muestra M1, presentando además una buena estabilidad. La actividad emulsificante de todas las muestras fue baja (menor al 20%) a pH ácido, pero con una buena estabilidad (86-96%) en este mismo rango de pH. Todas las muestras presentaron una buena digestibilidad *in vitro* (81-83%).

Se recomienda el uso de M1 en productos como merengues y mousses debido a sus propiedades térmicas y buena CE; y de M4 en productos horneados por sus propiedades térmicas y buena EE. Ambas poseen una adecuada digestibilidad, por lo que se posibilita su uso como fuente de proteína de alta calidad para enriquecer bebidas y alimentos infantiles.

I. INTRODUCCIÓN.

El conocimiento sobre composición y calidad nutritiva de un ingrediente proteínico son necesarios para conocer su utilidad como fuente de proteína en un sistema alimenticio. Además de estos datos es necesario el conocimiento de sus propiedades funcionales, definiéndose éstas como cualquier propiedad fisicoquímica que influencia la utilidad de un ingrediente en un alimento, afectando y modificando el carácter sensorial del mismo y contribuyendo a la calidad final del producto.

Existen diversas dificultades para predecir el comportamiento funcional de las proteínas, entre las que se encuentran la naturaleza propia de la proteína, el medio que la rodea, la complejidad de los sistemas alimenticios, la modificación de la estructura inicial de la proteína cuando se transforma en el complejo alimenticio final, la purificación del concentrado proteínico, entre otras. Por esto la realización de un estudio funcional junto con la caracterización fisicoquímica de un ingrediente proteínico es de suma importancia, ya que predice su comportamiento en un sistema alimenticio y por tanto su posible utilización de acuerdo a las propiedades que presente.

El huevo de codorniz, siendo una fuente de proteína, se encuentra subutilizado debido a los inconvenientes que presenta, entre otras cosas, su pequeño tamaño para ser consumido como huevo de plato. Debido al bajo costo de producción que presenta este producto (Ramírez, 2001), podría considerarse su clara deshidratada como una posible fuente de proteína funcional o como enriquecedor de alimentos; para lo cual, se hace necesaria su caracterización; por lo que en el presente trabajo se llevó a cabo el estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la clara deshidratada de huevo de codorniz, con el fin de determinar su posible empleo como ingrediente en un sistema alimenticio.

II. ANTECEDENTES.

II.1 Generalidades de la codorniz japonesa.

La codorniz pertenece al orden de las gallináceas, familia de las fasiánidas y al género *Coturnix*. Dentro de las variedades que se explotan comercialmente se encuentran la *coturnix var. coturnix* o codorniz europea, *coturnix var. japonica* o codorniz japonesa y *coturnix var. pharaoh*. La explotación coturnícola, en cuanto a huevo, se centra en la *Coturnix coturnix var. japonica*, también llamada codorniz doméstica, asiática, rey o del este. Esta ave anida en la isla de Sakhaline y en el Archipiélago de Japón y emigra a Siam, Indochina y Formosa; fue domesticada hace mucho tiempo en Japón e introducida a Europa y América (Lucotte, 1980).

La codorniz es una ave que pesa al nacer aproximadamente 7.0 g y que requiere de 5 a 6 semanas para llegar a ser adulta; edad en la cual inicia la producción de carne o huevo, pesando este último 10 % de su propio peso corporal, lo que indica su excepcional capacidad de conversión de alimento si lo comparamos con la de la gallina (3 %), por lo que resulta una ave muy atractiva para su explotación (Pérez y Pérez, 1974).

II.2 Huevo.

II.2.1 Generalidades.

Presenta una forma ovoide ligeramente irregular, con un diámetro transversal de 2.41 cm y un diámetro longitudinal de 3.25 cm. En la figura 1 se presenta la forma típica de un huevo de codorniz (Pérez y Pérez, 1974).

Closa y col. (1999) reportan un peso promedio de 11.40 g. Algunos factores relacionados con el mismo son el grosor de la cáscara, la alimentación de las reproductoras, la humedad y la temperatura ambiente (Ramírez, 2001).

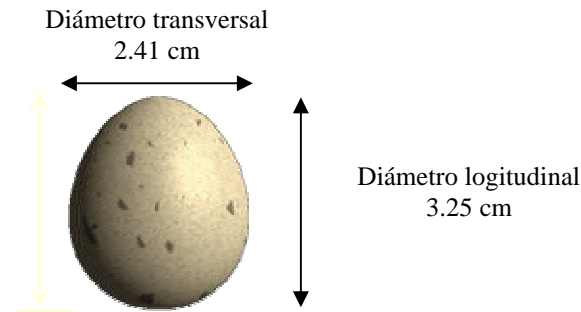


Figura 1. Dimensiones del huevo de codorniz.

(Fuente: Pérez y Pérez, 1974).

El color del huevo de codorniz depende del material pigmentario segregado por el tejido glandular situado en las proximidades de la pseudovagina o segmento terminal del oviducto. La pigmentación corresponde a una película que integra la cutícula de la cáscara, reflejándose en la codorniz por manchas de color marrón oscuro distribuidas homogéneamente por toda la superficie del huevo (Ramírez, 2001).

II.2.2 Estructura.

La estructura del huevo de codorniz, en términos generales, es la misma que en el huevo de gallina. En el cuadro 1 se comparan sus composiciones.

Cuadro 1. Análisis comparativo de los componentes estructurales del huevo de gallina y codorniz.

	Gallina	Codorniz
Peso promedio (g)	67.8	11.4
Porción comestible (%)	88.4	88.59
Cáscara (%)	11.5	11.41
Yema (%)	29.1	42.98
Clara (%)	59.3	45.61

Fuente: Closa y col. (1999).

La cáscara limita físicamente el contenido del huevo del ambiente que lo rodea y constituye una barrera protectora contra la penetración de microorganismos; se divide en cutícula, cáscara propiamente dicha y membranas.

La cutícula es poco soluble en agua, posee una estructura parecida a la del colágeno, se encuentra atravesada por una infinidad de poros y está compuesta aproximadamente de 90% de proteína; entre los aminoácidos que la componen se encuentran la glicina, lisina, cistina y tirosina (Stadelman y Cotterill, 1995).

La cáscara o estrato calcáreo, limitada exteriormente por la cutícula e interiormente por las membranas, está compuesta principalmente por cristales de carbonato de calcio. Es permeable a los gases, por lo que durante el almacenamiento del huevo penetra aire y el volumen de la cámara de aire formada entre la cáscara y las membranas aumenta, lo que constituye un indicio de menor frescura (Cheftel y col., 1989).

Las membranas se clasifican en interna, compuesta principalmente de mucina, y externa, unida a la cáscara mediante la penetración de sus fibras en la misma (área mamilar de Szuman) (Stadelman y Cotterill, 1995).

La yema consiste en una dispersión de partículas en una fase acuosa o plasma, sus componentes mayoritarios son proteínas y lípidos, existiendo cantidades menores de carbohidratos y minerales. Contiene la mayoría de los lípidos del huevo, siendo éstos esencialmente triglicéridos y fosfolípidos. La intensidad del color de la yema depende del contenido en carotenoides, lo cual está relacionado con la alimentación de la codorniz. (Cheftel y col., 1989).

La clara está constituida por cuatro capas distintas: externa fluida, densa, interna fluida y chalazas. La proporción de cada una de estas capas es variable, atribuyéndose esto a la raza, condiciones ambientales, tamaño del huevo y nivel de producción. El constituyente mayoritario de las distintas capas es el agua, descendiendo ligeramente su contenido desde las externas hacia las internas (Stadelman y Cotterill, 1995).

II.2.3 Composición química del huevo.

El huevo de codorniz contiene un mayor porcentaje de proteína y grasa (13.10 y 11.10%, respectivamente) en comparación con el huevo de gallina (12.5 y 10.0%, respectivamente) (Cuadro 2), así como un elevado contenido de minerales como fósforo, sodio, potasio, calcio y magnesio.

Cuadro 2. Análisis comparativo de la composición química del huevo de gallina y codorniz.

	g/100 g de porción comestible	
	Gallina	Codorniz
Agua	75.30	74.40
Proteína	12.50	13.10
Lípidos totales	10.00	11.10
Cenizas	0.94	1.11
Fósforo (mg)	178.00	226.00
Sodio (mg)	126.00	141.00
Potasio (mg)	121.00	132.00
Calcio (mg)	49.00	64.00
Magnesio (mg)	10.00	12.50

Fuente: ESHA (1997).

Los principales constituyentes de la clara, además del agua, son las proteínas que se segregan en el oviducto y que tienen primordialmente una función biológica, sin embargo, debido a la alta calidad que presentan se utilizan como alimento e ingrediente funcional.

II.2.4 Proteínas.

Las proteínas son macromoléculas complejas que pueden constituir el 50% o más del peso seco de las células y tienen un papel fundamental en su estructura y función. Su peso molecular oscila entre 5000 a varios millones de daltones. Estos biopolímeros están constituidos de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y, la mayoría de las veces, azufre. Asimismo, algunas proteínas contienen hierro, cobre, fósforo o zinc. La hidrólisis completa (ácida, alcalina o enzimática) de las proteínas libera aminoácidos de configuración L, que se diferencian entre sí por la naturaleza de sus cadenas laterales. Para la mayoría de las

proteínas, los aminoácidos constituyentes pertenecen a un grupo reducido de 20 de estos compuestos (Cheftel y col., 1989). Estos aminoácidos están unidos entre sí mediante enlaces amida, llamados enlaces peptídicos, que se forman por una condensación entre un grupo carboxilo y un amino, con la consecuente eliminación de agua. La unión de dos aminoácidos genera una molécula llamada dipéptido, la de tres, tripéptido, y así sucesivamente. La condensación de un mayor número de aminoácidos produce los polipéptidos o proteínas, que tienen un grupo amino y uno carboxilo terminal correspondientes a los dos aminoácidos que se localizan en los extremos de la cadena. Todas las propiedades físicas y químicas de las proteínas dependen completamente del tipo, concentración y de la secuencia de unión de los monómeros constituyentes (Badui, 1994). Las proteínas pueden clasificarse según su composición en dos grupos: las homoproteínas, compuestas exclusivamente de aminoácidos como la insulina; y las heteroproteínas, formadas por aminoácidos y diversos compuestos no proteicos, generalmente llamados grupo prostético. Según la naturaleza química del grupo prostético, se pueden distinguir: las nucleoproteínas (ribosomas, virus), las lipoproteínas (plasmática, β -lipoproteínas), las glicoproteínas (conalbúmina, ovomucoide, ovomucina), las fosfoproteínas (caseína, flavoproteínas) y las metaloproteínas (hemoglobina, mioglobina) (Cheftel y col., 1989).

Otro criterio para clasificar las proteínas es de acuerdo a su solubilidad, dividiéndose en albúminas, globulinas, glutelinas, prolaminas y escleroproteínas. La solubilidad depende del tipo de aminoácidos que contenga, de tal forma que el polipéptido que tenga muchos residuos hidrófobos tenderá a ser menos soluble en agua que el que tenga un elevado número de grupos hidrófilos. Las albúminas son solubles en soluciones salinas diluidas y en agua (α -lactalbúmina, albúminas del suero sanguíneo, ovoalbúmina). Las globulinas son prácticamente insolubles en agua pero solubles en soluciones salinas diluidas (miosina, β -lactoglobulina, glicina de la soya). Las glutelinas son solubles en ácidos y álcalis diluidos (glutelina del trigo y oricenina del arroz). Las prolaminas sólo se solubilizan en etanol (zeína del maíz y gliadina del trigo). Las escleroproteínas son insolubles prácticamente en todos los disolventes (colágena, elastina, queratina) (Badui, 1994).

Cada proteína está caracterizada por su conformación, es decir, por su organización tridimensional. Así, las proteínas fibrosas están compuestas de cadenas polipeptídicas

enlazadas a lo largo de un eje común lineal, que conduce a la formación de fibras (colágeno, queratina, elastina). Por otra parte, las proteínas globulares constan de una o varias cadenas polipeptídicas plegadas sobre sí mismas para formar estructuras tridimensionales esféricas o globulares (Cheftel y col., 1989).

Las proteínas presentan diferentes estados de ordenación o conformación que se conocen como estructura primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria.

La estructura primaria se refiere a la secuencia en que se encuentran unidos los aminoácidos por medio de enlaces covalentes (enlaces peptídicos); es una propiedad controlada genéticamente, altamente reproducible y única para cada fracción. Las estructuras primarias de numerosas proteínas son bien conocidas. Las cadenas proteicas más cortas contienen entre 20 y 100 aminoácidos y la mayor parte de las proteínas entre 100 y 500. Algunas cadenas contienen miles de aminoácidos.

La estructura secundaria se refiere a la disposición espacial adoptada por la cadena polipeptídica a lo largo de su eje, esta es estabilizada por diversas fuerzas, de las cuales las electrostáticas, los puentes de hidrógeno, las interacciones hidrófobas y las dipolo-dipolo son las más importantes. En condiciones normales, especialmente de pH y temperatura, cada cadena polipeptídica asume una conformación específica, llamada nativa, termodinámicamente correspondiente a un sistema organizado y estable con mínima energía libre. Las principales estructuras secundarias halladas en las proteínas son: la hélice α , la estructura β y conformaciones al azar.

La estructura terciaria se refiere al modo en que la cadena polipeptídica se curva o se dobla tridimensionalmente, conteniendo regiones con estructuras secundarias bien definidas (hélice α , giros β y láminas plegadas β) o mal definidas (enrollamiento al azar), se curva o se dobla tridimensionalmente para producir una estructura estrechamente plegada y compacta característica de las proteínas globulares. A diferencia de las fibrosas, que son moléculas lineales, las globulares tienen sus cadenas compactas con un alto grado de organización y presentan uniones hidrófilas, hidrófobas, iónicas y ocasionalmente covalentes. En casi todas las proteínas globulares hidrosolubles de estructura terciaria conocida, los aminoácidos hidrófobos tienden a localizarse en el interior de la molécula, en tanto que los aminoácidos polares se sitúan fundamentalmente en la superficie, con una distribución bastante uniforme.

La estructura cuaternaria, a diferencia de las anteriores, no necesariamente existe en todos los polipéptidos, refiriéndose a la asociación de dos o más cadenas (iguales o diferentes) a través de uniones no covalentes; pone de manifiesto la disposición en el espacio de las proteínas compuestas por más de una fracción (Fennema, 1996).

II.2.5 Proteínas de la clara de huevo de gallina.

La clara contiene más de 13 polipéptidos con características de glicoproteínas que integran una estructura bien organizada, gelatinosa y espesa. Muchos de estos polímeros presentan actividades biológicas cuya finalidad es proteger el embrión, ya que actúan como enzimas y anticuerpos, evitando que los microorganismos se desarrollen; además posee un alto valor nutritivo. La composición proteica de las capas delgada y gruesa de la clara se diferencia únicamente en el contenido de ovomucina (Fennema, 1996). En orden de importancia las principales proteínas de la clara son:

a) Ovoalbúmina.

Es la proteína mayoritaria de la clara, es una fosfoglicoproteína ya que contiene fosfato y carbohidratos unidos a la cadena polipeptídica. La ovoalbúmina purificada está constituida por tres fracciones, A1, A2 y A3 que sólo se diferencian en el contenido de fósforo. Las fracciones A1, A2 y A3 tienen dos, uno y ningún grupo fosfato; su proporción respectiva es 85:12:3. La secuencia completa de aminoácidos es de 385 residuos con 4 grupos sulfhidrilo y 1 grupo disulfuro (Stadelman y Cotterill, 1995). La ovoalbúmina purificada tiene un peso molecular de 45 kDa.

Durante el almacenamiento de los huevos la ovoalbúmina se convierte en una forma más termoestable llamada S-ovoalbúmina (Stable ovoalbúmina). La identificación y presencia de esta forma termoestable de la proteína puede ser confirmada por la diferencia en la temperatura de desnaturalización (Td), siendo esta de 84.5°C para la ovoalbúmina y 92.5°C para la S-ovoalbúmina (Doi y Kitabatake, 1997).

También posee buenas propiedades gelificantes que pueden ayudar a la estabilización térmica de las espumas, sin embargo, dichas propiedades se reducen cuando aumenta la proporción de S-ovoalbúmina (Cheftel y col., 1989).

b) Ovotransferrina (Conalbúmina).

Es la segunda proteína más abundante en la clara, la cual consiste en una cadena polipeptídica de aproximadamente 80 kDa (Matsuda, 1981). Es una glicoproteína que contiene 0.8% de hexosa y 1.4% de hexosamina. Es obtenida de la clara por precipitación fraccionada con sulfato amónico, no contiene fósforo ni grupos sulfhidrilo (Fennema, 1996).

Contiene 686 residuos de aminoácidos, determinado de la secuencia de su cDNA (DNA complementario). La ovotransferrina es parte de la familia de las transferrinas que incluyen la ovotransferrina, serotransferrina y lactoferrina (Doi y Kitabatake, 1997).

Está constituida por una sola cadena polipeptídica y puede existir en equilibrio bajo tres formas de diferente contenido en Fe^{3+} (dos, uno o ningún átomo de hierro por molécula). A un pH próximo a 6, una molécula de conalbúmina puede fijar dos iones metálicos; según la naturaleza del catión fijado, los complejos pueden resultar coloreados (rojos con Fe^{3+} y amarillos con Cu^{2+}) o no. Los complejos metálicos de conalbúmina son más estables que la proteína natural (Cheftel y col., 1989).

La ovotransferrina es muy sensible a la desnaturalización térmica (57-65°C) pero menos sensible a la desnaturalización superficial que la ovoalbúmina. Donovan y col. (1975) reportaron que las propiedades funcionales de la clara de huevo son más afectadas por la desnaturalización de la ovotransferrina en torno a 70°C.

c) Ovomucoide.

Es una glicoproteína conformada por tres dominios separados, cada uno de ellos unido por tres enlaces cruzados disulfuro. Constituye aproximadamente el 10% de las proteínas de la clara de huevo (Doi y Kitabatake, 1997).

El ovomucoide es un inhibidor de la tripsina con un peso molecular de 28 kDa (Stadelman y Cotterill., 1995). Es muy resistente a la coagulación por el calor en medio ácido y moderadamente alcalino, pero en presencia de lisozima y en medio alcalino coagula a temperaturas superiores a 60°C (Matsuda y col., 1982).

d) Lisozima.

Es una proteína básica con un peso molecular de 20.7 kDa y un punto isoeléctrico de 11, mucho más elevado que el del resto de las proteínas de la clara. La secuencia de aminoácidos de la lisozima es de 129 residuos y su estructura tridimensional es conocida con precisión. Cada molécula del polipéptido contiene cuatro enlaces disulfuro pero ningún grupo SH libre. Esta proteína posee una actividad enzimática β -glucosaminidásica cuyo sustrato está presente en la pared de algunas bacterias grampositivas, produciendo la hidrólisis de este sustrato la lisis de la bacteria (Stadelman y Cotterill, 1995).

La lisozima puede separarse de la clara por precipitación en cloruro de sodio (5%) a pH isoeléctrico, la cual es utilizada por la industria farmacéutica para la “maternización” de la leche de vaca (Cheftel y col., 1989).

La temperatura de desnaturalización de esta proteína es alrededor de 70-75°C, dependiendo del pH y condiciones de solución (Donovan y col., 1975). Es mucho más sensible al calor en la propia clara que cuando está presente sola en regulador de fosfato de pH 7-9. Cuando la clara se calienta a 63.5°C durante 10 min la lisozima se inactiva, ocurriendo esto en mayor grado cuando el pH aumenta por encima de 7 (Fennema, 1996).

La lisozima tiene una conformación compacta y firme debido a sus enlaces disulfuro intramoleculares, por sí misma no muestra propiedades funcionales como espumado, gelificación o emulsificación en los sistemas alimenticios; sin embargo, ya que es una proteína muy sencilla, fácilmente interacciona con otras proteínas y componentes, lo cual también tiene influencia en las propiedades de los alimentos (Arntfield y Bernatsky, 1993).

e) Ovomucina.

Es una glicoproteína caracterizada por una alta viscosidad y naturaleza gelificante capaz de formar con la lisozima un complejo insoluble en agua, el cual probablemente contribuye a la estructura gelatinosa de la capa gruesa de la clara. No es una proteína hidrosoluble aunque es soluble en soluciones salinas diluidas de pH 7 o superior. Ha sido separada en dos fracciones, una pobre en carbohidratos (15%) y otra rica en los mismos (50%) denominadas α y β -ovomucina, respectivamente. El peso molecular de la α -

ovomucina es aproximadamente de 18 kDa y de la β -ovomucina es aproximadamente de 400 kDa (Doi y Kitabatake, 1997).

Es relativamente termorresistente pero es sensible a la desnaturalización superficial, es responsable en gran medida de las propiedades funcionales de la clara, como es la capacidad espumante y estabilización de las espumas en frío. También se considera que tiene una actividad biológica contra varios virus (Cheftel y col., 1989).

f) Ovoglobulinas.

Nakamura y col. (1980) reportaron la separación de cinco constituyentes de la fracción de globulina de la clara de huevo usando 43% de sulfato de amonio saturado, seguido por una filtración en gel y cromatografía con carboximetilcelulosa. Estos cinco constituyentes son la ovomacroglobulina, las globulinas G₂ y G₃, y dos ovoinhibidores. En contraste con las otras tres globulinas, ni G₂ ni G₃ demostraron la actividad inhibitoria hacia las proteinasas. Los análisis de la composición de aminoácidos, composición de carbohidratos y pesos moleculares característicos mostraron que G₂ y G₃ son glicoproteínas similares. Estas ovoglobulinas han demostrado ser excelentes agentes espumantes (Stadelman y Cotterill, 1995).

g) Ovoinhibidor.

Es una glicoproteína capaz de inhibir la tripsina y quimotripsina, como las proteasas fungales y bacterianas. El alto peso molecular reportado de 49 kDa hace al ovoinhibidor uno de los más grandes inhibidores de enzimas proteolíticas (Stadelman y Cotterill, 1995). Matsuda y col. (1981) reportaron que el ovoinhibidor de la clara de huevo de gallina es inestable al calor y posee mayor estabilidad en medio ácido.

h) Ovoflavoproteína.

Toda la riboflavina en el albumen (clara) está limitada por la ovoflavoproteína en una proporción 1:1. La función de la ovoflavoproteína es presumiblemente asegurar la transferencia de la riboflavina desde el suero de la sangre al albumen. El peso molecular de esta proteína es aproximadamente 35 kDa y su punto isoeléctrico alrededor de 4 (Stadelman y Cotterill, 1995).

i) Avidina.

Es una glicoproteína que se combina con la biotina para formar un complejo estable e incapaz de ser absorbido por el tracto intestinal de los animales (Wilcheck y Bayer, 1990). Esta glicoproteína está compuesta de cuatro subunidades idénticas de polipéptidos, cada una con 128 residuos de aminoácidos. La avidina se considera un posible anti-nutriente debido a su fuerte afinidad con la biotina, además se ha pensado que juega un papel como agente antimicrobiano (Stadelman y Cotterill, 1995).

II.3 Propiedades funcionales.

Las proteínas no sólo son fuentes de aminoácidos, sino que, debido a su naturaleza polimérica, su presencia influye en las características reológicas y de textura de un alimento, haciendo que éste sea más aceptado por el consumidor; debido a esto se usan comercialmente como ingredientes en la fabricación de alimentos (Badui, 1996).

La habilidad que tiene un ingrediente para interactuar con otros e impartir propiedades deseables a un sistema alimenticio es conocida como “funcionalidad”. El término propiedad funcional que se aplica a estos ingredientes, se define como cualquier propiedad fisicoquímica de los polímeros que afecta y modifica algunas características de un alimento y que contribuye a la calidad final del producto (Hall, 1996). Las proteínas juegan un papel importante y mayoritario en las propiedades funcionales de los sistemas alimenticios. La apariencia, tamaño, forma, textura, consistencia, viscosidad y palatabilidad son algunas de las características físicas importantes en varios productos alimenticios (Wijeratne, 1995). Estas propiedades son utilizadas algunas veces para determinar el grado de desnaturalización; ya que dependen fundamentalmente de factores intrínsecos propios de la molécula (conformación, relación y disposición de los aminoácidos, hidrofobicidad, carga eléctrica, forma y peso molecular), así como de factores extrínsecos (medio que la rodea) que en ocasiones pueden modificarse (pH, fuerza iónica, temperatura, actividad acuosa y constante dieléctrica) (Damodaran, 1997).

Damodaran, (1994) propone que las diversas propiedades funcionales de las proteínas pueden ser vistas como la manifestación de dos aspectos moleculares:

a) Propiedades hidrodinámicas.

Las propiedades como viscosidad, gelificación y texturización se relacionan con las propiedades hidrodinámicas y dependen del tamaño, forma y flexibilidad molecular.

b) Propiedades relacionadas con la superficie proteica.

Estas propiedades son la humidificación, dispersabilidad, solubilidad, capacidad espumante y capacidad emulsificante y están relacionadas con sus propiedades químicas y topográficas.

Según Cheftel y col. (1989), las propiedades funcionales de las proteínas se clasifican en tres grupos principales:

a) Propiedades de hidratación.

Son dependientes principalmente de la interacción proteína-agua y son aquellas como la adsorción, absorción y retención de agua, solubilidad, dispersabilidad y viscosidad. Las moléculas de agua enlazan a varios grupos de aminoácidos (los que tienen carga, los que tienen grupos amido, aquellos con grupos OH y los no polares) que propician interacciones ion-dipolo, dipolo-dipolo, dipolo-dipolo inducido e hidratación hidrofóbica, según el grupo de que se trate. Los grupos de aminoácidos con carga enlazan cerca de 6 moles de agua/mol de residuo, los polares sin carga cerca de 2 moles de agua/mol de residuo y los no polares aproximadamente 1 mol de agua/mol de residuo; por lo que la capacidad de hidratación de la proteína está relacionada parcialmente con su estructura primaria (mientras mayor sea su número de aminoácidos cargados, mayor será su capacidad de hidratación). Diversos factores del medio que rodea a la proteína afectan su capacidad de enlazarse al agua, entre ellos se encuentran la concentración, el pH, la fuerza iónica, la presencia y el tipo de sales, la temperatura, la presencia de otros constituyentes y la conformación de la propia proteína. En el punto isoeléctrico las interacciones proteína-proteína son máximas y se asocian y repliegan sobre ellas mismas, manifestando la mínima hidratación e hinchamiento. Por arriba y abajo del punto isoeléctrico, el incremento en la carga neta y fuerzas de repulsión entre las proteínas permiten que se hinchen y enlacen más agua (Fennema, 1996). Generalmente la fijación de agua por las proteínas decrece cuando

la temperatura se eleva debido a la disminución de los puentes de hidrógeno y la hidratación de los grupos iónicos. Las proteínas desnaturalizadas generalmente son más solubles que en estado nativo en virtud de su mayor superficie de contacto y a la exposición de algunos grupos hidrófobos inicialmente ocultos; sin embargo, si la desnaturalización es extensa, la capacidad de enlazamiento al agua disminuye debido a la mayor interacción proteína-proteína. La solubilidad de una proteína no es función solamente de la capacidad de enlazarse al agua, sino también de otros factores como pH, fuerza iónica, temperatura y concentración proteica, por lo que no puede relacionársele directamente (Damodaran, 1997).

b) Propiedades dependientes de las interacciones proteína-proteína.

Son aquellas como la gelificación, coagulación, elasticidad, cohesividad, dureza y adhesividad (Damodaran, 1997). La solubilidad de una proteína es la manifestación termodinámica de un equilibrio entre las interacciones proteína-proteína y proteína-disolvente, siendo influenciado dicho equilibrio por las características hidrofóbicas e iónicas de la propia proteína: las interacciones hidrofóbicas promueven las primeras y las iónicas las segundas.

c) Propiedades de superficie.

Dependen de la interacción de la proteína con dos fases inmiscibles: agua/aceite y agua/aire, siendo éstas las propiedades emulsificantes y espumantes (Damodaran, 1997). Las proteínas son sustancias de naturaleza anfotérica y pueden migrar espontáneamente a una interfase aire-agua o agua-aceite para reducir la tensión interfacial (Pilosof y Bartholomai, 2000); de esta manera, las proteínas son consideradas como agentes surfactantes ya que forman una película altamente viscoelástica en la interfase, capaz de resistir esfuerzos mecánicos durante el manejo y almacenamiento. Las proteínas, por tener en sus moléculas tanto porciones hidrofóbicas como hidrofílicas, son sustancias que exhiben propiedades superficiales. Para que la proteína tenga una adecuada propiedad superficial debe adsorberse, desdoblarse y reorientarse rápidamente en la interfase formando una película viscoelástica, flexible y resistente capaz de soportar movimientos mecánicos y cambios térmicos (German y Phillips, 1994).

A menudo la desnaturalización tiene una repercusión negativa porque implica la pérdida de algunas de las propiedades funcionales, como en el caso de proteínas alimentarias que pierden solubilidad; aunque en otras ocasiones, algún grado de desnaturalización es deseable que ocurra, ya que generalmente las hace más digeribles y mejora sus propiedades emulsificantes y espumantes (Fennema, 1996).

III. OBJETIVOS.

III.1 Objetivo general.

Caracterizar fisicoquímica y funcionalmente la clara deshidratada de huevo de codorniz (*Coturnix coturnix japonica*).

III.2 Objetivos específicos.

1. Caracterizar fisicoquímicamente la clara deshidratada de huevo de codorniz, determinando su composición proximal, patrón electroforético y temperaturas y entalpías de desnaturalización.
2. Caracterizar funcionalmente la clara deshidratada de huevo de codorniz, determinando capacidad de absorción de agua y aceite, capacidad espumante y estabilidad de espuma, y actividad emulsificante y estabilidad de la emulsión.
3. Determinar la digestibilidad *in vitro* de la clara deshidratada de huevo de codorniz.

IV. METODOLOGÍA.

Se utilizaron huevos obtenidos de las puestas de codornices japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) entre Noviembre de 2002 y Febrero de 2003, provenientes de la Granja Avícola Mexicapam (San Martín Mexicapam, Oax).

IV.1 Obtención de la clara deshidratada por convección de aire caliente.

La separación de las claras se realizó en forma manual, las yemas se congelaron y con las claras se formó una espuma utilizando una batidora Moulinex a una velocidad de 11 durante 10 min. Se colocó una capa de espuma de 1 cm de espesor en una charola de acero inoxidable y se introdujo en una estufa de convección de aire. Las condiciones de secado fueron: M1 (65°C, 3.5 h), M2 (65°C, 5 h), M3 (70°C, 3.5 h) y M4 (70°C, 5 h). Como referencia se empleó clara liofilizada (ML), la cual se obtuvo mediante un equipo Labconco LYPHLOCK 4.5 a -47°C y 13×10^{-3} Mbars por 48 h.

IV.2 Caracterización fisicoquímica.

IV.2.1 Composición proximal.

Se determinó la composición proximal de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la AOAC (1997), comprendiendo los siguientes análisis:

- a) Humedad (925.30): Se calculó como la pérdida de peso después de secar la muestra a 98-100°C hasta peso constante.
- b) Cenizas (923.03): Se calcularon como el peso remanente después de calcinar la muestra en una mufla a 550°C durante 2 h.
- c) Nitrógeno (925.31): Se determinó con el sistema Kjeltex (Tecator, Sweden) y el contenido de proteína se calculó como Nitrógeno X 6.25.
- d) Grasa (925.32): Se cuantificó mediante el sistema Soxtec después de 1 h de extracción con éter de petróleo.

IV.2.2 Análisis electroforético en condiciones desnaturalizantes SDS-PAGE

(Electroforesis en geles de poliacrilamida en condiciones desnaturalizantes).

El análisis se realizó mediante la técnica modificada de Schagger y Jagow (1987) bajo las siguientes condiciones: Se prepararon geles de acrilamida al 13 %, mezclando 2.6 mL de solución de acrilamida-bisacrilamida al 49.5 % (48 % acrilamida y 1.5 % bisacrilamida), 3.3 mL de regulador del gel (Trizma base 3M, ajustado a pH 8.45 y 0.3 % de SDS), 1.03 mL de glicerol, 2.8 mL de agua, 50 μ L de persulfato de amonio y 20 μ L de TEMED (tetrametilenetilenodiamida). El regulador para el ánodo de la cámara fue preparado con Trizma base (Sigma T-1503) 0.2 M ajustado a pH 8.9 y el del cátodo con Trizma base 0.1 M, Tricina (Sigma T-5816) 0.1 N y 0.1 % de SDS (dodecil sulfato de sodio). Las muestras fueron calentadas a 95 °C durante 2 min en regulador de muestra preparado con 0.6 mL de Tris - HCl 1 M a pH 6.8, 5 mL de glicerol al 50 % (p/v), 2 mL de SDS al 10 %, 1 mL de azul de bromofenol (3',3'',5',5''-tetrabromofenolsulfoneftalina) (Sigma B-5525) al 1 % (p/v) y 1.4 mL de agua destilada. Se utilizaron 2 estándares de proteínas (BIORAD) de alto peso molecular (48-204 kDa) y bajo peso molecular (20.7-103 kDa). La electroforesis se llevó a cabo con una corriente constante de 20 mA/gel durante 2 h, en una minicámara conectada a una fuente de poder Biorad (165-5056). Terminada esta etapa, los geles se tiñeron con una solución de azul de Coomassie G-250 (Fluka 27815) al 0.10 % en agua: metanol: ácido acético en relación 4:1:5 (v/v/v) durante 1 h. Finalmente se decoloraron con una solución acuosa de ácido acético (10%) y metanol (40%) durante 12 h.

IV.2.3 Temperaturas y entalpías de desnaturalización.

Para determinar las temperaturas y entalpías de desnaturalización se realizó una calorimetría de barrido diferencial (CBD) a las muestras según la técnica descrita por Martínez y Añón (1996).

Se pesaron 3 mg (b.s.) de muestra y se suspendieron en 10 μ L de agua desionizada, se colocaron en cápsulas herméticas (Perkin-Elmer No. 0219-0062) dejando reposar las muestras por lo menos 30 min a temperatura ambiente (25 °C). Se realizó la corrida con un equipo Perkin Elmer DSC-6 Pyris, programado con un flujo de calentamiento de 10 °C / min en un intervalo de 30 a 130 °C.

IV.3 Caracterización funcional.

IV.3.1 Capacidad de absorción de agua (CAA) y aceite (CAAc).

Se realizó de acuerdo al método reportado por Chau y col. (1997). Se pesó un gramo de muestra (b.s) en un tubo y se adicionaron 10 mL de agua destilada o aceite de maíz según fuera el caso.

Se colocaron en agitación constante en una placa de agitación magnética (velocidad 6) durante 1 min, posteriormente se centrifugaron a 2200xg por 30 min. Al término de la centrifugación se midió el volumen del sobrenadante en probetas de 10 mL y con la densidad respectiva se determinó la masa en g de agua o aceite separado.

La capacidad de absorción de agua se expresó como g de agua absorbida por g de proteína (g agua / g proteína) y la capacidad de absorción de aceite se expresó como g de aceite absorbido por g de proteína (g aceite / g proteína).

IV.3.2 Capacidad espumante (CE) y estabilidad de espuma (EE).

Se utilizó la metodología reportada por Chau y col. (1997). Se prepararon 100 mL de una suspensión de proteína al 1.5 % (p/v), se ajustó el pH (2, 4, 6, 7, 8 y 10) y se batió a baja velocidad en una licuadora por 5 minutos, se trasvasó a una probeta de 250 mL y se registró el volumen de espuma después de 30 segundos. El resultado se expresó como incremento de porcentaje en un volumen de espuma después de 30 segundos.

Se dejó reposar y se midió el volumen de espuma después de 5, 30 y 120 minutos. La estabilidad de la espuma se determinó como el remanente del volumen de espuma después de 5, 30 y 120 min.

IV.3.3 Actividad emulsificante (AEm) y estabilidad de la emulsión (EEm).

Se determinaron utilizando la metodología reportada por Chau y col. (1997). Esta prueba se realizó a valores de pH 2, 4, 6, 7, 8 y 10. Se prepararon 10 mL de una suspensión de muestra (p/v) al 2% (b.s), se ajustó el pH al nivel deseado y se agitó en un equipo de homogeneización Caframo modelo RZR1 a una velocidad de 2000 rpm por 2 min, se añadieron 10 mL de aceite de maíz y se homogeneizó por 1 min más. Se centrifugó en

tubos graduados de 15 mL a 1200xg por 5 min y se midió el volumen de la emulsión formada.

La actividad emulsificante se expresó como la relación entre el volumen de capa emulsificada y el volumen de toda la capa en el tubo X 100.

Para determinar la estabilidad de la emulsión, las muestras preparadas se calentaron en un baño de agua a 80°C por 30 min y se enfriaron a temperatura ambiente. Posteriormente se centrifugaron en tubos graduados de 15 mL a 1200xg por 5 min y se midió el volumen de la emulsión. Se calculó la estabilidad de la emulsión como el volumen de capa emulsificada remanente del volumen de la emulsión original.

IV.4 Digestibilidad *in vitro*.

Se realizó de acuerdo al método de Hsu y col. (1977). Se prepararon 50 mL de una suspensión acuosa de material proteínico (tamizado por una malla 80 y con concentración proteica de 6.25 mg/mL), se ajustó a pH 8 con HCl 0.1 N o NaOH 0.1 N y se colocó en un baño de agua con agitación a 37°C.

Se preparó una solución multienzimática con 1.6 mg de tripsina (tipo IX Sigma T-0134 con 14,190 unidades BAEE / mg de proteína), 3.1 mg de quimotripsina (tipo II Sigma C-4129 con 60 unidades / mg de polvo) y 1.3 mg de peptidasa (grado III Sigma P-75000 con 40 unidades / g de polvo) por mL, se ajustó a pH 8 y se mantuvo en un baño de hielo hasta su empleo. Se añadieron 5 mL de esta solución multienzimática a la suspensión proteínica (mantenida en agitación a 37 °C) y se midió la caída de pH con un potenciómetro digital después de un período de 10 min con agitación constante. Se calculó la digestibilidad aparente “*in vitro*” (Y) a partir de la ecuación:

$$Y = 210.464 - 18.103 X$$

Donde: X = pH de la suspensión proteínica después de 10 min de digestión con la solución multienzimática.

Todos los resultados presentados son las medias y desviaciones estándar de los análisis realizados por duplicado en el caso de los análisis proximales y triplicados para el resto de los mismos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

V.1 Caracterización fisicoquímica.

V.1.1. Composición proximal.

La composición proximal de la clara de huevo de codorniz deshidratada a las condiciones de secado M1 (65°C, 3.5 h), M2 (65°C, 5 h), M3 (70°C, 3.5 h) y M4 (70°C, 5 h); se presenta en el cuadro 3. El contenido de humedad de todas las muestras se encontró dentro de los límites que marca la NOM-159-SSA1-1996, (3.00-8.00 %) para clara deshidratada de huevo de gallina y otras especies que sean aceptadas para consumo humano. También los valores de humedad encontrados en las muestras fueron menores al reportado en ESHA (1997) para clara deshidratada de huevo de gallina (8.55%), estos contenidos de humedad hacen que ninguna de las muestras sea susceptible al crecimiento de microorganismos durante su almacenamiento (Stadelman y Cotterill, 1995).

Cuadro 3. Composición proximal (%B.S.) de las claras de huevo de codorniz deshidratadas a diferentes condiciones de secado.

Análisis	M1 65°C, 3.5 h	M2 65°C, 5 h	M3 70°C, 3.5 h	M4 70°C, 5 h
Humedad	(6.36 ± 0.08)	(6.16 ± 0.02)	(7.42 ± 0.03)	(6.24 ± 0.05)
Cenizas	6.06 ± 0.15	5.96 ± 0.22	6.63 ± 0.28	7.08 ± 0.09
Proteína	93.96 ± 0.50	93.71 ± 0.07	93.16 ± 0.24	92.56 ± 0.06
Grasa	0.58 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.49 ± 0.01	0.56 ± 0.06

El contenido de cenizas máximo en las muestras fue de 7.08% en la M4 y el mínimo de 5.96% en la M2; estos resultados indican que el huevo de codorniz es una buena fuente de minerales, entre los que se encuentran reportados en ESHA (1997) fósforo (226 mg/100 g), sodio (141 mg/100 g), potasio (132 mg/100 g), calcio (64 mg/100 g) y magnesio (12.50 mg/100 g). De igual manera, Morr y col. (1985), reportan un contenido similar de cenizas para clara de huevo de gallina, con valor de 6.10%.

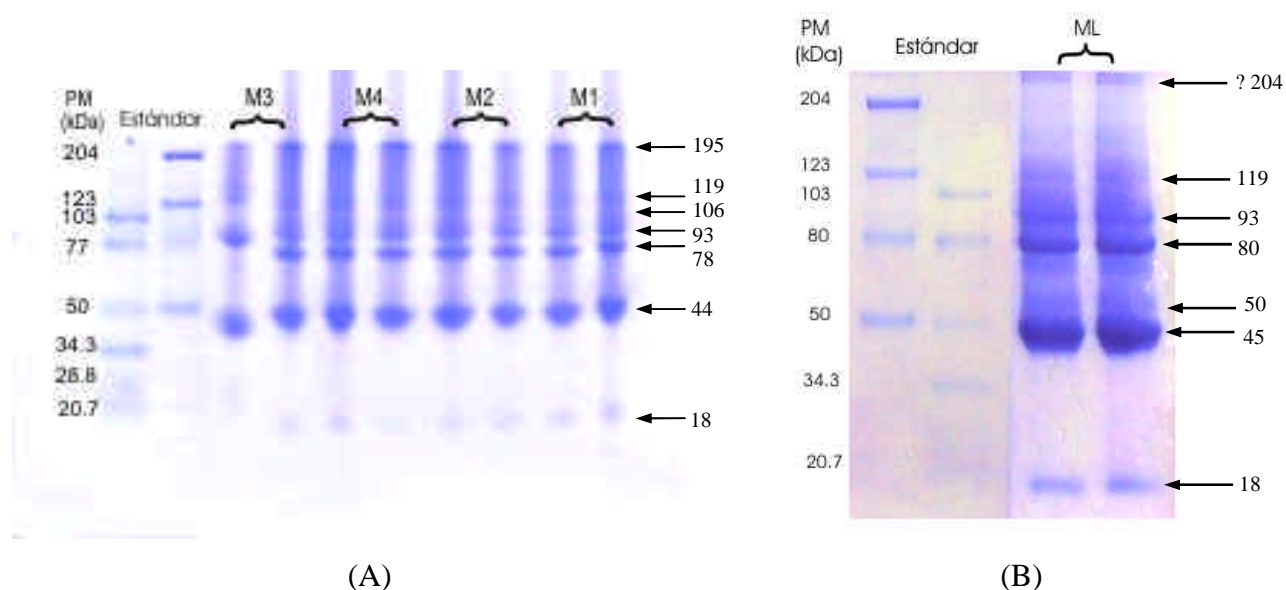
El análisis proximal mostró un alto contenido de proteína (92-93%), en comparación con el valor reportado en ESHA (1997) para clara deshidratada de huevo de gallina (82.40 %). Morr y col. (1985) y Baniel y col. (1997), citan valores de contenido de proteína de 80.72 y 90.0 %, respectivamente para clara de huevo de gallina secada por aspersion. De igual manera, Vani y Zayas (1995), reportan contenidos de proteína en clara deshidratada de huevo de gallina de 80.0%.

El contenido de grasa en las muestras (0.42-0.58%) es mayor al reportado por Morr y col. (1985) para clara deshidratada de huevo de gallina, indicando un contenido de 0.04%.

Closa y col. (1999) reportan valores de proteína y grasa superiores en huevo entero de codorniz que en huevo de gallina, por lo cual las diferencias encontradas para estos parámetros en el albumen de ambas fuentes podría deberse a las diferencias propias entre cada especie.

V.1.2. Análisis electroforético en condiciones desnaturizantes (SDS-PAGE).

El análisis electroforético de las cuatro muestras deshidratadas por convección de aire caliente mostró un número de bandas similar (9 bandas) (Figura 2.A) Las de mayor presencia (señaladas con flechas) fueron las de 18, 44, 78, 93, 106, 119 y 195 kDa.



(A) (B)
 Figura 2. Patrón electroforético (SDS-PAGE) de las muestras M1, M2, M3 y M4 (A) y de la muestra ML (B).

En el caso del patrón electroforético de la muestra liofilizada (ML), se encontraron 9 bandas (Figura 2.B), siendo las de mayor presencia (señaladas con flechas) las de 18, 45, 50, 80, 93, 119 y una de más de 204 kDa. De las bandas presentadas en los dos patrones electroforéticos, 3 de ellas (18, 44-45 y 78-80 kDa) son similares a las encontradas en clara cruda de huevo de gallina (20.7, 45 y 80 kDa) (Matsuda y col., 1981).

La banda de aproximadamente 18 kDa probablemente corresponda a la lisozima (PM = 20.7 kDa) reportada en clara de huevo de gallina (Chiang y col., 1993). La presencia de esta proteína pudiera deberse a que por las condiciones de secado no se haya desnaturizado, ya que su temperatura de desnaturalización es alrededor de 70-75°C (Donovan y col., 1975). La banda de 44 kDa fue la de mayor intensidad y correspondió a la fracción de ovoalbúmina, sugiriéndose que ésta no fue desnaturizada ni sufrió agregación por la acción del calor durante el secado, en el caso de las muestras tratadas por convección de aire caliente (Matsuda y col., 1981), ya que ésta también se encontró en el patrón de ML. Hegg y col. (1979) reportaron un rango de temperatura de agregación para la ovoalbúmina purificada de 70-75°C. Con respecto a la banda de 78 kDa, ésta podría corresponder a la fracción de ovotransferrina (conalbúmina) (80 kDa) reportada por Matsuda y col. (1981), ya que estos autores reportaron su presencia después de haber calentado la clara a 60°C por 180 min.

Con respecto a las fracciones de ovoinhibidor (49 kDa) y flavoproteína (35 kDa), no se encontraron ninguna de estas bandas en el patrón electroforético de las muestras M1, M2, M3 y M4, lo que sugiere que el tratamiento térmico al que fueron sometidas las muestras causó la agregación de estas fracciones proteicas como reportan Matsuda y col. (1981) en clara de huevo de gallina. Sin embargo en el patrón electroforético de la muestra ML se observó una banda de aproximadamente 50 kDa, pudiendo corresponder a la fracción del ovoinhibidor (49 kDa).

El ovomucoide (28 kDa) ha sido considerado como una proteína estable de la clara (Matsuda y col., 1981), sin embargo no se pudo apreciar ninguna banda correspondiente en los patrones electroforéticos (M1 a M4 y ML). Esto podría deberse a que se haya borrado su banda durante el desteñido, tal como lo reportaron Feeney y col. (1963), a que el ovomucoide no es detectado por PAGE como lo reportan Chang y col. (1970) o a que su presencia no sea significativa en la clara de huevo de codorniz.

En el caso de las globulinas G2 y G3 (30-45 kDa), no se observaron bandas correspondientes a estas fracciones en el patrón electroforético de ninguna de las muestras secadas por convección de aire caliente, pudiendo deberse a que por la acción del calor también se hayan agregado (Matsuda y col., 1981), aunque estos autores reportaron que las bandas de globulina G2 y G3 desaparecieron cuando las muestras fueron sometidas a temperaturas de 60 y 70°C por 120 min. Sin embargo, la aparición de bandas de más de 90 kDa haría más probable la primera posibilidad.

La presencia de las bandas correspondientes a lisozima, ovoalbúmina y conalbúmina en las muestras secadas por convección de aire caliente puede indicar que el tratamiento térmico al que fueron sometidas no fue muy severo, ya que se mantuvo la presencia de estas fracciones proteicas al igual que con la muestra secada por liofilización.

V.1.3. Temperaturas y entalpías de desnaturalización.

Las muestras estudiadas mostraron un pico de la endoterma entre 81-84°C atribuible a la temperatura de desnaturalización (Td) de la ovoalbúmina, proteína mayoritaria de la clara de huevo de codorniz (URL: <http://www.agridata.mg.gov.or/folahovo.htm>). Estas Td fueron similares (Cuadro 4) a la Td de la ovoalbúmina de huevo de gallina (84.5°C) reportada por Raeker y Johnson (1995); pudiendo descartarse así la conversión de ovoalbúmina en S-ovoalbúmina durante el almacenamiento de los huevos, ya que la presencia de ésta última hubiera mostrado un pico a mayor temperatura (Doi y Kitabatake, 1997).

Cuadro 4. Temperaturas y entalpías de desnaturalización de la clara deshidratada de huevo de codorniz.

Muestra	Td (°C)	? H (J/g)
M1	83.43 ± 0.0	7.79 ± 0.02
M2	83.85 ± 0.32	7.39 ± 0.24
M3	83.61 ± 0.24	5.51 ± 0.17
M4	82.86 ± 0.18	5.59 ± 0.05
ML	81.16 ± 0.01	9.08 ± 0.03

Se puede observar en el cuadro 4 que las Td de las muestras M1, M2, M3 y M4 fueron ligeramente mayores que la Td de la muestra liofilizada (81.16°C). Estas diferencias pueden deberse a cambios conformacionales ocasionados por las temperaturas de secado utilizadas, es decir, que haya habido un rearrreglo de la cadena proteínica permitiendo que los segmentos hidrófobos en el interior de la proteína tengan una mayor interacción entre ellos, haciéndolas ligeramente más fuertes, dando lugar a temperaturas de desnaturalización mayores (Myers, 1990).

En cuanto a la entalpía de desnaturalización (ΔH), la cual es una estimación de la energía requerida para la desnaturalización de la proteína (Damodaran, 1997), el mayor valor fue encontrado en la muestra ML (9.08 J/g). Esto indica que el proceso de liofilización por el cual fue deshidratada la muestra desnaturalizó en menor grado la proteína ya que las demás muestras presentaron ΔH más bajas, como lo menciona Cheftel y col. (1989). Esto sugiere entonces un menor cambio conformacional ya que su Td fue más baja.

Entre las muestras deshidratadas por medio de convección de aire caliente, la muestra M1 mostró el mayor valor de ΔH (7.79 J/g), siendo muy probable que esta muestra sea la que se haya dañado en menor grado durante el proceso de secado ya que requirió mayor energía para su desnaturalización (Myers, 1990).

De acuerdo a las propiedades térmicas presentadas por las muestras secadas por convección de aire caliente, se sugiere pensar que ninguna sufrió daño térmico severo debido a las condiciones de secado, por lo que se posibilita su uso en productos horneados como panes, pasteles y pastel de claras (de ángel), ya que su temperatura de desnaturalización es próxima a la temperatura de gelatinización del almidón, con lo cual se incrementa la viscosidad del batido, previniendo así la coalescencia de las burbujas de aire, logrando un volumen y textura máximos antes y durante el horneado, estableciéndose así la estructura final de la miga del producto (Donovan, 1977).

V.2. Caracterización funcional.

V.2.1. Capacidad de absorción de agua y aceite.

Las capacidades de absorción de agua (CAA) de las muestras M3 y M4 fueron semejantes, con valores de 2.95 y 2.65 g/g muestra, respectivamente (Cuadro 5), siendo mayores que los encontrados en las muestras M1 y M2, ambas con valores de 0.90 g/g muestra y también mayores que la CAA reportada por Cheftel y col. (1989) para clara de huevo de gallina, con un valor de 1.30 g/g de muestra.

Cuadro 5. Capacidad de absorción de agua (CAA) y aceite (CAAc) de las muestras deshidratadas.

Muestra analizada	M1 65°C, 3.5 h	M2 65°C, 5.0 h	M3 70°C, 3.5 h	M4 70°C, 5.0 h	ML
CAA g/g de muestra	0.90 ± 0.00	0.90 ± 0.00	2.95 ± 0.05	2.65 ± 0.05	4.50 ± 0.50
CAAc g/g de muestra	0.97 ± 0.09	1.01 ± 0.04	1.01 ± 0.04	0.92 ± 0.04	1.95 ± 0.05

La CAA de ML (4.5 g/g muestra) resultó ser mayor que en las demás muestras, pudiendo deberse a que por la desnaturalización de estas últimas hubiera un cambio conformacional de la proteína y por tanto una variación en el número y naturaleza de los sitios de enlace con el agua, disminuyendo así su capacidad de enlazamiento (Chau y col., 1997). Otra de las razones probables por la cual se obtuvieron menores valores de CAA en las muestras secadas por convección de aire caliente, podría deberse a que las condiciones de secado influyen en el tamaño y porosidad tanto interna como superficial de las partículas deshidratadas, y posiblemente al llevarse a cabo el proceso en estas muestras, no se obtuvieron porosidades elevadas ni concentración mínima de la partícula, lo cual si ocurrió en el caso de la muestra liofilizada ML (Cheftel y col., 1989).

Kanterewicz y col. (1987) reportan valores de CAA de 2.58 g/g muestra para clara liofilizada de huevo de gallina, semejantes a los encontrados en M3 y M4 para clara de huevo de codorniz. Debido a que la absorción y retención de agua por parte de un concentrado proteico tiene un papel fundamental en la calidad de la textura de diversos

alimentos, especialmente carnes trituradas y pastas de panadería, y dado que el valor de CAA fue adecuado en la clara deshidratada de huevo de codorniz (M3 y M4), se sugiere utilizarla en productos de panificación, con lo que se puede adicionar más agua a la masa para obtener una viscosidad adecuada y mejorar el volumen y textura del batido antes del horneado (Donovan, 1977).

Las cuatro muestras deshidratadas por convección de aire caliente tuvieron CAAC semejantes (0.92-1.01 g/g muestra), pero menores que la muestra ML (1.95 g/g muestra), pudiendo deberse a que por el tratamiento térmico al que fueron sometidas, los grupos hidrófobos que se expusieron interaccionaron entre sí, como lo sugiere su mayor Td y por lo tanto no permitieron su enlace con el aceite (Chel, 2001). Los valores de CAAC de todas las muestras fueron menores al reportado por Kanterewicz y col. (1987) para clara liofilizada de huevo de gallina, con valor de 4.22 g/g muestra.

Debido a la baja CAAC presentada por las muestras secadas por convección de aire caliente, no se vislumbra su uso en productos como frituras, botanas, cárnicos y confitería.

V.2.2. Capacidad Espumante y Estabilidad de Espuma.

La capacidad espumante de las muestras fue dependiente del pH obteniéndose los valores más altos a pH 2 (Figura 3), pudiendo deberse a que a pH ácido la proteína haya sufrido un cambio en su carga neta y conformación (Vani y Zayas, 1995). La muestra M1 presentó el valor más alto (222 %), seguida de M2 (198 %), siendo ambos mayores al encontrado en la muestra ML (168 %), pudiendo deberse a que ambas muestras (M1 y M2) sufrieron, durante el secado, un desdoblamiento sin llegar a la agregación, lo cual hizo suficientemente flexibles sus moléculas, actuando así eficazmente como agentes surfactantes (Cheftel y col., 1989).

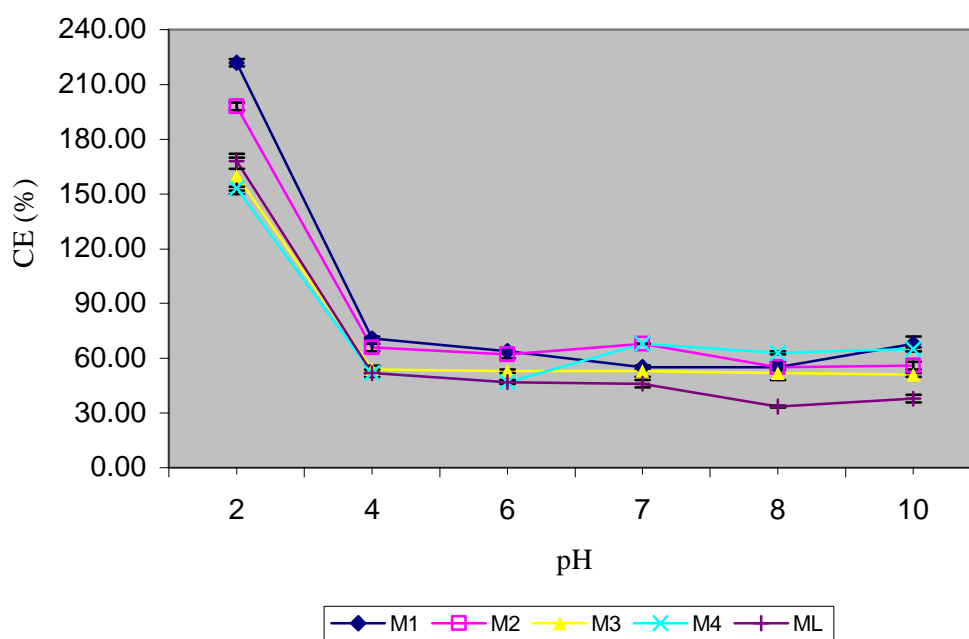


Figura 3. Efecto del pH sobre la capacidad espumante de la clara deshidratada de huevo de codorniz. Los datos representan el promedio de tres repeticiones \pm D.E.

A diferencia de M1 y M2, las capacidades espumantes de las muestras M3 y M4 fueron menores a la CE de la muestra ML (160 y 153 %, respectivamente), debido probablemente a que en éstas, las condiciones del proceso de secado pudieron haber provocado mayores interacciones proteína-proteína reduciendo así su actividad superficial (Cheftel y col., 1989).

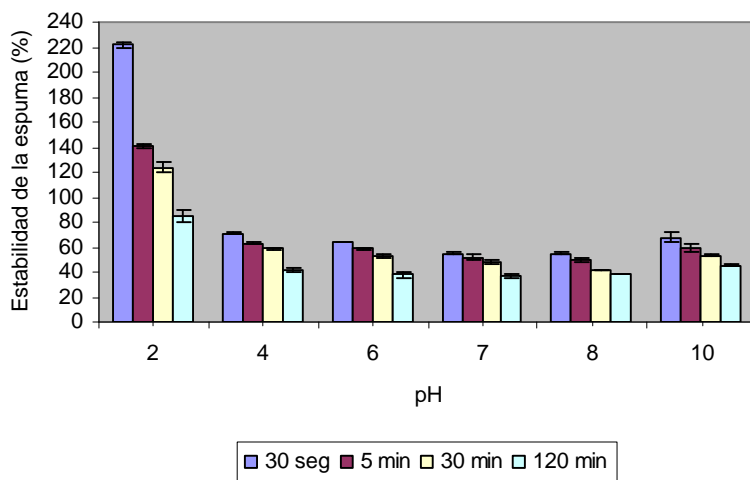
El valor más bajo en todo el rango de pH, con excepción del pH 2, fue encontrado en la muestra ML, pudiendo deberse a que por el proceso de secado (liofilización) la proteína haya conservado su estructura nativa, siendo así sus moléculas poco flexibles y por tanto no se haya concentrado ni extendido rápidamente para rebajar la tensión superficial en la interfase (Cheftel y col., 1989).

Vani y Zayas (1995) obtuvieron valores de capacidad espumante para clara deshidratada de huevo de gallina de 60 % a una concentración del 2% y pH 10. En términos generales, las muestras secadas por convección de aire caliente presentaron valores similares entre 56-68 %.

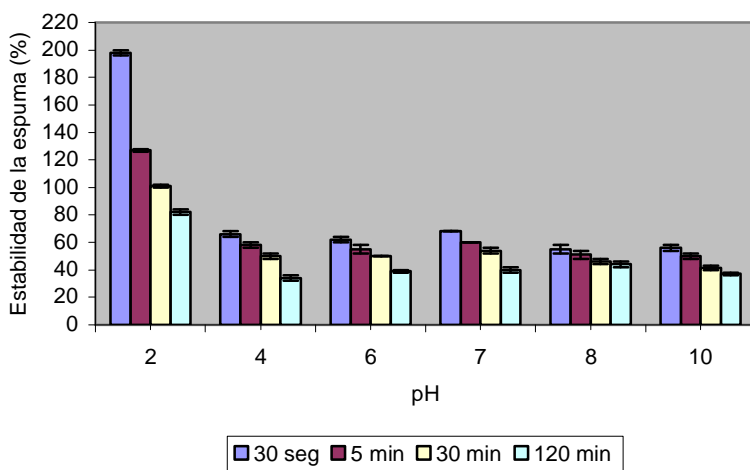
También la capacidad espumante depende de la concentración de sólidos presentes en la suspensión proteica, aumentando conforme se eleva dicha concentración, esto, debido a un cambio en la viscosidad de la fase continua, como lo reportan Vani y Zayas (1995). Estos autores incrementaron la capacidad espumante de la clara deshidratada de huevo de gallina al aumentar la concentración proteica de la suspensión en un rango de 1 a 8%. Sin embargo algunas veces una alta viscosidad puede impedir la incorporación de aire en el líquido y reducir la formación de espuma, debido a la interacción proteína-proteína.

La concentración empleada en este estudio fue de 1.5%, por lo que se pudiera esperar una mayor capacidad espumante manipulando la concentración de albumen empleada en la suspensión (Cheftel y col., 1989).

Respecto a la estabilidad de las espumas formadas, las muestras M1 (Figura 4.A) y M2 (Figura 4.B) presentaron comportamientos similares, ya que se observó una menor estabilidad a pH 2, en donde la reducción del volumen de espuma fue mayor de los 30 seg a los 120 min (137 y 116% de volumen original, respectivamente). Estas muestras presentaron una mayor estabilidad de espuma a pH 8 (17 y 11%, respectivamente) y pH 10 (22.5 y 19% respectivamente).



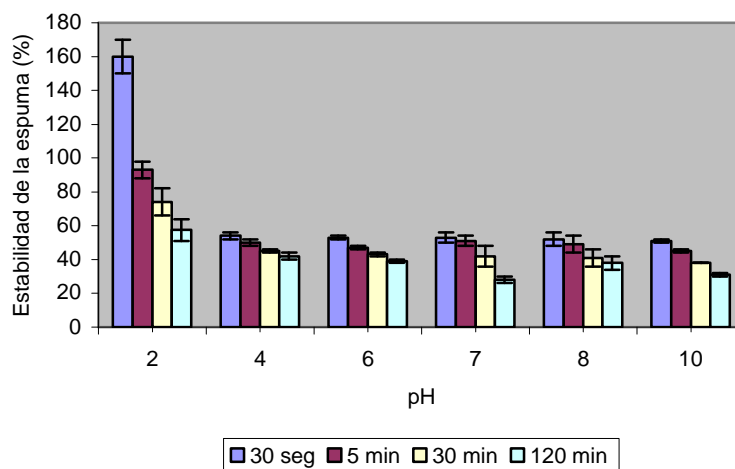
(A)



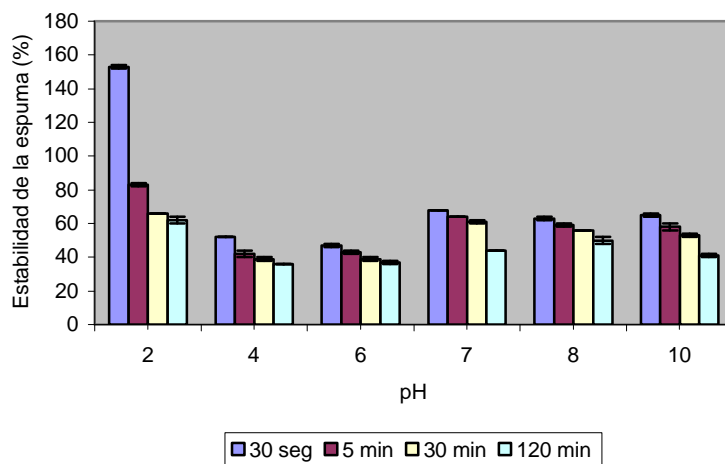
(B)

Figura 4. Estabilidad de la espuma de la clara deshidratada de huevo de codorniz, muestras M1 (A) y M2 (B). Los datos representan el promedio de tres repeticiones \pm D.E.

El volumen de espuma de M3 (Figura 5.A) y M4 (Figura 5.B) disminuyó en todos los tiempos probados (5', 30' y 120'). La estabilidad de la espuma fue menor a pH 2, donde se observó una mayor reducción del volumen de espuma de los 30 seg a los 120 min (102.5 y 91%, respectivamente). La mayor estabilidad de espuma se observó a los pH's 4 y 6, donde las reducciones de los volúmenes de espuma fueron mínimas en los tiempos probados (5', 30' y 120').



(A)



(B)

Figura 5. Estabilidad de la espuma de la clara deshidratada de huevo de codorniz, muestras M3 (A) y M4 (B). Los datos representan el promedio de tres repeticiones \pm D.E.

La muestra ML tuvo la menor capacidad espumante, presentando menor estabilidad de espuma a pH 2 (Figura 6), siendo más inestable de los 30 seg a los 5 min (93%). La mayor estabilidad de espuma se observó a los pH's 8 y 10, donde las reducciones de los volúmenes de espuma fueron mínimas en todos los tiempos (5', 30' y 120').

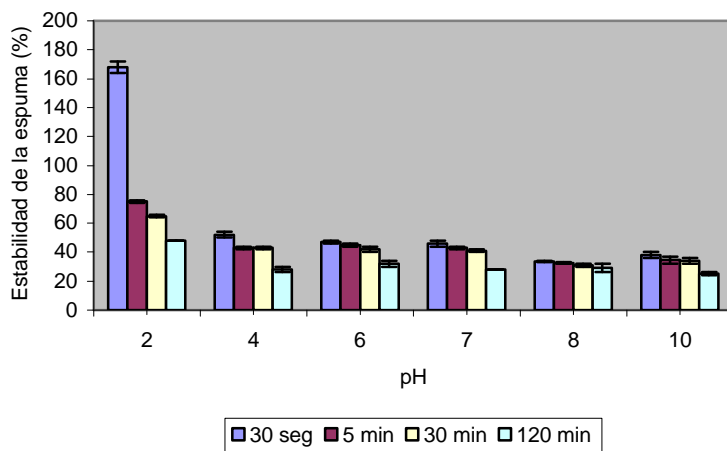


Figura 6. Estabilidad de la espuma de la clara liofilizada (ML) de huevo de codorniz.

Los datos representan el promedio de tres repeticiones \pm D.E.

El comportamiento semejante en cuanto a la menor estabilidad de espuma a pH 2 observado en todas las muestras puede deberse a que la película proteica formada en torno a cada burbuja de gas no fue lo suficientemente viscosa, elástica y resistente para reducir la permeabilidad del gas, inhibir la coalescencia de la espuma, y por tanto incapaz de soportar el peso de la espuma formada, ya que a ese pH se obtuvo el mayor volumen de espuma. La mayor estabilidad de espuma observada en estas muestras a pH's básicos pudo deberse al menor volumen de espuma obtenido en éstos, por lo cual hubo menor coalescencia de las burbujas y derrumbe de la espuma (Vani y Zayas, 1995), sin embargo, aún los niveles de espuma fueron suficientemente buenos respecto de los demás pH's.

Vani y Zayas (1995) reportan valores de estabilidad de espuma al 2% de concentración y pH 10 para clara deshidratada de huevo de gallina a los 30, 60, 90 y 120 min de 52.0, 46.6, 42.0 y 37.6%; siendo semejantes a los valores de las muestras secadas por convección de aire caliente. Estos autores mostraron que la estabilidad de espuma a los 30 min y el drenado o pérdida de líquido fueron mejorados con niveles de concentración de proteína de 8%. De acuerdo con Kinsella (1981) y Phillips (1981), las películas interfaciales más espesas obtenidas a altas concentraciones de proteína (8 %) mejoran la estabilidad de la espuma, reduciendo el flujo de líquido dentro de la lamela (laminilla líquida que separa las burbujas de gas). De acuerdo con Richert (1979) y Halling (1981) un incremento en la concentración de proteína da por resultado un decremento en el drenado del líquido y por tanto una mayor estabilidad de espuma.

Debido a la buena capacidad espumante presentada por la muestra M1 a pH's ácidos se sugiere utilizarla en la elaboración de merengues y mousses. Por otra parte, por la estabilidad de espuma presentada por la muestra M4 a pH's básicos se sugiere utilizarla en la elaboración de productos horneados como panes, pasteles y bizcochos, ya que en éstos últimos actuaría como un medio de soporte para el almidón, logrando un volumen máximo antes del horneado (Donovan, 1977). Sin embargo, la capacidad espumante y estabilidad de la espuma de estas muestras se puede mejorar aumentando la concentración de la suspensión proteica.

V.2.3. Actividad emulsificante y estabilidad de la emulsión.

Los perfiles de actividad emulsificante (AEm) a los diferentes pH's (2 a 10) para las muestras M1, M2, M3 y M4 fueron similares entre sí (Figura 7). En general el perfil de actividad emulsificante fue ascendiendo desde pH 2, con valores de 13 a 21%, hasta llegar a un nivel máximo a pH 8, donde se obtuvieron valores de 41 a 46%. Una vez alcanzado este nivel máximo se obtuvieron valores mínimos de 1 a 3% a pH 10. Estas muestras tuvieron mayores valores en todo el rango de pH que los de la muestra ML, debido probablemente al tratamiento térmico al que fueron sometidas las muestras, ya que pudo haber ocurrido un desdoblamiento y rearrreglo de la proteína, exponiendo así sitios hidrófobos del interior, haciéndola más flexible que en su forma nativa, pudiendo así desplegarse y extenderse en la interfase aceite/agua (Cheftel y col., 1989).

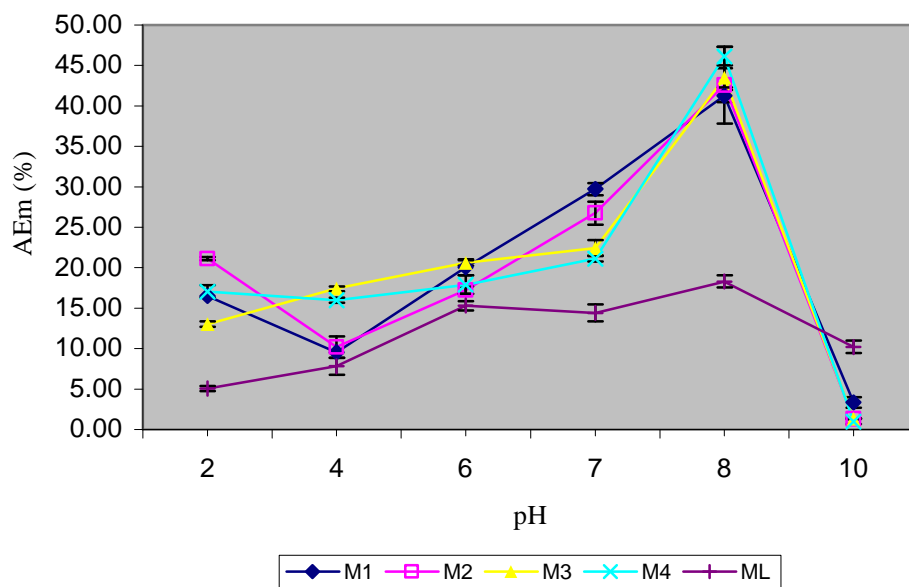


Figura 7. Efecto del pH sobre la actividad emulsificante de la clara deshidratada de huevo de codorniz. Los datos representan el promedio de tres repeticiones \pm D.E.

Otro de los factores que influyen en la actividad emulsificante es la estabilidad conformacional, reflejada por la entalpía de desnaturalización (ΔH), estableciéndose que entre más bajo sea el valor de ΔH , más inestabilidad presentará la proteína y más elevadas serán sus propiedades emulsificantes. En el caso de la muestra ML, ésta presentó el mayor valor en cuanto a ΔH (9.08 J/g), a diferencia de las demás muestras, especialmente la M3 y M4 (5.51 y 5.59 J/g, respectivamente). Este decremento en ΔH presentado por estas muestras parece estar relacionado al desplegamiento de la proteína en la interfase aceite/agua, reduciendo así la tensión interfacial para formar la emulsión (Kato, 1995).

Respecto a los perfiles de actividad emulsificante de las muestras a lo largo de la escala de pH, Chau y col. (1997) reportan que se deben a la viscosidad de la fase continua generada por la variación de pH, obteniendo una viscosidad óptima a pH 8 capaz de formar una película proteica de rigidez y elasticidad adecuada para disminuir la tensión interfacial. También puede atribuirse este comportamiento a las variaciones del balance hidrofiliicidad-hidrofobicidad de la proteína, ya que debido a que estas son hidrófilas, un incremento en la hidrofobicidad superficial provoca que las proteínas lleguen a ser anfifílicas, orientando así sus extremidades hidrófobas e hidrófilas a los dos lados de la interfase aceite/agua, respectivamente.

Chau y col. (1997) en la evaluación de concentrados proteicos de leguminosas reportan valores de AEm de 53.0 a 58%. Pérez (1999) reporta valores de AEm a diferentes pH's (2 a 10) para harinas y concentrados proteicos de *P. lunatus* y *C. ensiformis* que van de 40 a 60 %. Por otra parte Ahmenda y col. (1999) reportan una AEm de 87.5% para el aislado de soya, siendo todos estos valores superiores a los obtenidos en la clara de huevo de codorniz, sin embargo para clara deshidratada de huevo de gallina reportan valores similares de AEm de 53 % (Pérez, 1999).

Los perfiles de la estabilidad de la emulsión fueron similares en las muestras M1, M3 y M4 (Figura 8), presentando mayores valores a pH 2 y 4, de 91.81 y 88.98 % para M1, 97.50 y 92.16 % para M3 y 96.16 y 95.74 % para M4. Se obtuvo la menor estabilidad de la emulsión a pH 8, presentando valores entre 34 y 37 %; esto puede deberse a que aunque a este pH se obtuvo la mayor actividad emulsificante (41-46 %), la película proteica no pudo resistir la tensión interfacial entre las dos fases y por tanto se presentó la coalescencia de la

gotitas emulsificadas entre sí, lo cual origina un aumento progresivo del tamaño de las mismas, conduciendo finalmente a la separación de las dos fases (Cheftel y col., 1989).

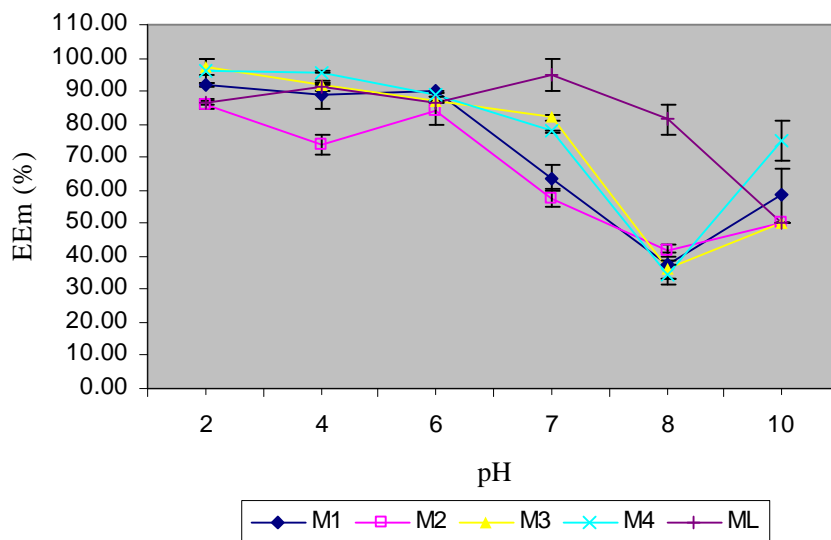


Figura 8. Efecto del pH sobre la estabilidad de la emulsión de la clara deshidratada de huevo de codorniz. Los datos representan el promedio de tres repeticiones \pm D.E.

La muestra ML presentó valores constantes en la estabilidad de la emulsión en el rango de pH 2 a 6 (arriba del 85 %), teniendo una menor estabilidad a pH 10 con valor de 50%. Chau y col. (1997) obtuvieron para concentrados proteicos de leguminosas valores de estabilidad de 94.8 % a pH 4, siendo este el valor más bajo reportado, y valores de 96 y 97.59% a pH 2 y 10, respectivamente. Pérez (1999) reporta valores de estabilidad emulsificante para harinas y concentrados proteicos de *P. lunatus* y *C. ensiformis* de 100 %.

Debido a los resultados obtenidos no se recomendaría el uso de la clara deshidratada de huevo de codorniz en productos que requieran propiedades emulsificantes adecuadas, como es el caso de embutidos, mayonesas y aderezos ya que sería necesario utilizar mayor cantidad de ésta para lograr una adecuada emulsificación, la cual puede obtenerse más fácilmente utilizando otros ingredientes con mejores propiedades emulsificantes.

V. 3. Digestibilidad *in vitro*.

La digestibilidad *in vitro* de las cuatro muestras deshidratadas por convección de aire caliente fueron similares entre ellas (81-83 %) y mayores a la obtenida para la muestra ML (74.51 %) (Cuadro 6). Hank y col. (2001) reportaron para albumen pasteurizado de huevo de gallina valores de digestibilidad de 82.4%.

Cuadro 6. Digestibilidad *in vitro* de la clara deshidratada de huevo de codorniz.

Muestra	Digestibilidad (%)
M1	82.11 ± 0.00
M2	81.30 ± 0.09
M3	83.02 ± 0.18
M4	82.39 ± 0.27
ML	74.51 ± 0.18

Los bajos valores en cuanto a entalpías de desnaturalización presentados por las muestras deshidratadas por convección de aire caliente sugieren que hubo cambios conformacionales en las estructuras terciaria y cuaternaria de sus proteínas provocados por el tratamiento térmico al que fueron sometidas, teniendo así mayor susceptibilidad al ataque de las enzimas proteolíticas y por tanto mayores valores de digestibilidad (Deshpande y Damodaran, 1990). Carbonaro y col. (1997) mencionan que la estructura de la proteína es considerada como limitante de su digestibilidad, de igual manera Chetfel y col. (1989) mencionan que otro factor limitante de la disponibilidad de una proteína es la presencia de factores antinutricios, que en el caso del huevo son el ovomucoide (inhibidor de la tripsina) y el ovoidinhibidor (inhibidor de la tripsina y quimotripsina). De acuerdo al análisis electroforético realizado a las muestras, las que fueron deshidratadas por convección de aire caliente no presentaron bandas características de ovoidinhibidor ni ovomucoide; sin embargo la muestra ML, presentó una banda de 50 kDa correspondiente probablemente a la fracción de ovoidinhibidor; por lo que se puede inferir en ella su presencia, reflejándose esto con un valor más bajo de digestibilidad *in vitro* (74.51 %) debido a su carácter inhibitorio.

De acuerdo a los valores de digestibilidad presentados por todas las muestras deshidratadas por convección de aire caliente, se recomienda su uso como fuente de proteína para enriquecer bebidas y alimentos infantiles.

VI. CONCLUSIONES.

Las muestras M1 a M4 presentaron valores de humedad dentro de los límites que marca la NOM-159-SSA1-1996, además se encontró un alto contenido de proteína.

El análisis electroforético de las muestras M1 a M4 y ML mostró tres bandas, correspondientes a las fracciones lisozima (20.7 kDa), ovoalbúmina (45 kDa) y ovotransferrina (80 kDa). El tratamiento térmico fue suficiente para destruir la fracción correspondiente al ovoinhibidor (49 kDa), el cual se observó solamente en la muestra ML.

Las Td de la ovoalbúmina para las muestras M1 a M4 y ML fueron similares a la Td de la ovoalbúmina de huevo de gallina. Entre las muestras M1 a M4, la muestra M1 presentó el mayor valor de η_{sp}/C .

Las muestras M3 y M4 presentaron una buena CAA. La CAAC de todas las muestras fue deficiente. La CE en todas las muestras fue mejor en condiciones ácidas, y las mayores EE se observaron a los pH's 8 y 10 en la muestra M1 y a los pH's 4 y 6 en la muestra M4. La AEm de las muestras fue baja, pero con una buena estabilidad en el rango de pH de 2 a 6. Debido a las propiedades térmicas y a la buena CE presentada por la muestra M1 a pH's ácidos, se sugiere utilizarla en la elaboración de merengues y mousses. Por otra parte, debido a las propiedades térmicas y buena EE presentada por la muestra M4 a pH's básicos, se sugiere utilizar ésta en la elaboración de productos horneados como panes, pasteles y bizcochos.

Los valores de digestibilidad *in vitro*, para las muestras M1 a M4, fueron similares y mayores al valor obtenido para la muestra ML. De acuerdo a esto se recomienda su uso como fuente de proteína para enriquecer bebidas y alimentos infantiles.

VII. RECOMENDACIONES.

Se sugiere determinar el perfil de solubilidad de la clara deshidratada de huevo de codorniz.

Se sugiere realizar un perfil de aminoácidos de la clara deshidratada de huevo de codorniz con el fin de conocer la composición de aminoácidos esenciales en la proteína.

Se sugiere realizar una caracterización electroforética de la clara deshidratada de huevo de codorniz.

Se sugiere la estandarización de las condiciones de secado M1 y M4 como procesos de secado.

VIII. ANEXOS.

Cuadro 1. Efecto del pH sobre la capacidad espumante de la clara deshidratada de huevo de codorniz.

pH	M1	M2	M3	M4	ML
2	222 ± 2	198 ± 2	160 ± 10	153 ± 1	168 ± 4
4	71 ± 1	66 ± 2	54 ± 2	52 ± 0	52 ± 2
6	64 ± 0	62 ± 2	53 ± 1	47 ± 1	47 ± 1
7	55 ± 1	68 ± 0	53 ± 3	68 ± 0	46 ± 2
8	55 ± 1	55 ± 3	52 ± 4	63 ± 1	33.5 ± 0.5
10	68 ± 4	56 ± 2	51 ± 1	65 ± 1	38 ± 2

Cuadro 2. Estabilidad de la espuma de la muestra M1.

pH	30 seg	5 min	30 min	120 min
2	222 ± 2	141 ± 1	124 ± 4	85 ± 5
4	71 ± 1	63 ± 1	59 ± 1	42 ± 2
6	64 ± 0	59 ± 1	53 ± 1	38 ± 2
7	55 ± 1	52 ± 2	48 ± 2	37 ± 1
8	55 ± 1	50 ± 2	42 ± 0	38 ± 0
10	68 ± 4	59 ± 3	53.5 ± 0.5	45.5 ± 0.5

Cuadro 3. Estabilidad de la espuma de la muestra M2.

pH	30 seg	5 min	30 min	120 min
2	198 ± 2	127 ± 1	101 ± 1	82 ± 2
4	66 ± 2	58 ± 2	50 ± 2	34 ± 2
6	62 ± 2	55 ± 3	50 ± 0	39 ± 1
7	68 ± 0	60 ± 0	54 ± 2	40 ± 2
8	55 ± 3	51 ± 3	46 ± 2	44 ± 2
10	56 ± 2	50 ± 2	41.5 ± 1.5	37 ± 1

Cuadro 4. Estabilidad de la espuma de la muestra M3.

pH	30 seg	5 min	30 min	120 min
2	160 ± 10	93 ± 5	74 ± 8	57.5 ± 6.5
4	54 ± 2	50 ± 2	45 ± 1	42 ± 2
6	53 ± 1	47 ± 1	43 ± 1	39 ± 1
7	53 ± 3	51 ± 3	42 ± 6	28 ± 2
8	52 ± 4	49 ± 5	41 ± 5	38 ± 4
10	51 ± 1	45 ± 1	38 ± 0	31 ± 1

Cuadro 5. Estabilidad de la espuma de la muestra M4.

pH	30 seg	5 min	30 min	120 min
2	153 ± 1	83 ± 1	66 ± 0	62 ± 2
4	52 ± 0	42 ± 2	39 ± 1	36 ± 0
6	47 ± 1	43 ± 1	39 ± 1	37 ± 1
7	68 ± 0	64 ± 0	61 ± 1	44 ± 0
8	63 ± 1	59 ± 1	56 ± 0	50 ± 2
10	65 ± 1	58 ± 2	53 ± 1	41 ± 1

Cuadro 6. Estabilidad de la espuma de la muestra ML.

pH	30 seg	5 min	30 min	120 min
2	168 ± 4	75 ± 1	65 ± 1	48 ± 0
4	52 ± 2	43 ± 1	43 ± 1	28 ± 2
6	47 ± 1	45 ± 1	42 ± 2	32 ± 2
7	46 ± 2	43 ± 1	41 ± 1	28 ± 0
8	33.5 ± 0.5	32.5 ± 0.5	31 ± 1	29 ± 3
10	38 ± 2	34.5 ± 2.5	34 ± 2	25 ± 1

Cuadro 7. Efecto del pH sobre la actividad emulsificante de la clara deshidratada de huevo de codorniz.

pH	M1	M2	M3	M4	ML
2	16.50 ± 0.96	21.14 ± 0.20	13.00 ± 0.33	17.07 ± 0.74	5.07 ± 0.34
4	9.53 ± 0.75	10.20 ± 1.30	17.41 ± 0.29	15.99 ± 0.34	7.85 ± 1.05
6	20.07 ± 0.74	17.24 ± 0.46	20.61 ± 0.34	17.92 ± 1.14	15.31 ± 0.55
7	29.73 ± 0.68	26.76 ± 1.43	22.46 ± 0.98	21.15 ± 0.34	14.39 ± 1.06
8	41.22 ± 3.37	42.57 ± 4.73	43.48 ± 1.19	46.13 ± 1.16	18.31 ± 0.74
10	3.36 ± 0.68	1.33 ± 0.00	1.34 ± 0.01	1.01 ± 0.34	10.21 ± 0.75

Cuadro 8. Efecto del pH sobre la estabilidad de la emulsión de la clara deshidratada de huevo de codorniz.

pH	M1	M2	M3	M4	ML
2	91.81 ± 0.50	85.74 ± 1.36	97.50 ± 2.50	96.16 ± 3.84	86.61 ± 0.90
4	88.98 ± 4.36	73.76 ± 3.17	92.16 ± 0.15	95.74 ± 0.09	91.16 ± 1.16
6	89.99 ± 0.33	84.23 ± 4.23	86.88 ± 0.21	88.65 ± 0.64	86.66 ± 0.30
7	63.72 ± 3.72	57.64 ± 2.88	82.06 ± 0.80	77.78 ± 0.35	95.00 ± 5.00
8	37.20 ± 3.87	41.82 ± 1.82	36.07 ± 2.74	34.37 ± 2.94	81.32 ± 4.40
10	58.34 ± 8.34	50.00 ± 0.00	50.00 ± 0.00	75.00 ± 6.25	50.00 ± 0.00

IX. REFERENCIAS.

- Ahmenda, M., Prinyawiwatkul, W. y Rao, R. 1999. Solubilized wheat protein isolate: Functional properties and potential food applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47 (4):1340-1345.
- Arntfield, S. D. y Bernatsky, A. 1993. Characteristic of heat-induced networks for mixtures of ovalbumin and lysozyme. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41:2291.
- Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C) 1997. Official methods of analysis. Cap. 34. pp. 1-2. Cuniff, P. (Ed). Gaithersburg, USA.
- Badui, D. S. 1994. Química de Alimentos. Ed. Alambra. pp. 123-150.
- Baniel, A., Fains, A. y Popineau, Y. 1997. Foaming properties of egg albumen with a bubbling apparatus compared with whipping. *Journal of Food Science*. 62 (2):377-381.
- Carbonaro, M., Cappelloni, N. S., Lucarini, M. y Carnovale, E. 1997. Solubility-Digestibility relationships of legume proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45 (9):3387-3394.
- Chang, P. K., Powrie W. D. y Fennema O. 1970. Disc-gel electrophoresis of proteins in native and heat-treated albumen, yolk and centrifuged whole egg. *Journal of Food Science*. 35:774-778.
- Chau, C. F., Cheung, K. y Wong, Y. S. 1997. Functional properties of protein concentrates from three Chinese indigenous legume seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45 (11):2500-2503.
- Cheftel, J. C., Cuq, J. L. y Lorient, D. 1989. Proteínas alimentarias. Ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 49-102, 167-175.
- Chel, G. L. 2001. Fraccionamiento de las proteínas del grano de *Phaseolus lunatus* y sus principales características bioquímicas, térmicas y funcionales. Tesis de Doctorado. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-Instituto Politécnico Nacional. México.

- Chiang, B. H., Su, C. K., Tsai, G. J. y Tsao, G. T. 1993. Egg lysozyme purification by ultrafiltration and affinity chromatography. *Journal of Food Science*. 58 (2):303-306.
- Closa, S. J., Marchesich, C., Cabrera, M. y Morales, J. C. 1999. Composición de huevos de gallina y codorniz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 49 (2):181-185.
- Damodaran, S. 1994. Structure-function relationship of food proteins. En: Protein functionality in food systems. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 1-38.
- Damodaran, S. 1997. Food Proteins: An Overview. En: Food proteins and their applications. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 1-30.
- Deshpande, S. S. y Damodaran, S. 1990. Conformational characteristics of legume 7S Globulins as Revealed by circular dichroic, derivative U. V. absorption and fluorescence techniques. *Int. J. Pept. Protein Res.* 35:25-34.
- Doi, E. y Kitabatake, N. 1997. Structure and functionality of egg proteins. En: Food proteins and their applications. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 325-340.
- Donovan, J. W. 1977. A study of the baking process by differential scanning calorimetry. *Journal of Science Food and Agriculture*. 28:571-578.
- Donovan, J. W., Mapes, C. J., Davis, J. G. y Garibaldi, J. A. 1975. A differential scanning calorimetric study of the stability of egg white to heat denaturation. *Journal of Science Food and Agriculture*. 26:73.
- Dzudie, T. y Hardy, J. 1996. Physicochemical and functional properties of flours prepared from common beans and green mung beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 4:3029-3032.
- ESHA. 1997. Genesis for windows. Databases. ESHA research, Salem.
- Feeney, R. E., Abplanalp, H., Clary, J. J., Edwards, D. L. y Clark, J. R. 1963. A genetically varying minor protein constituent of chicken egg white. *J. Biol. Chem.* 238:1732.
- Fennema, O. R. 1996. Food Chemistry. Ed. Marcel Dekker, Inc. 3ª ed. pp. 321-429.

- German, J. B. y Phillips, L. 1994. Protein interactions in foams: protein-gas phase interactions. En: Protein functionality in food systems. Ed. Marcel Dekker, Inc. USA. pp. 181-208.
- Hall, G. M. 1996. Methods of testing proteins functionality. Chapman and Hall. London.
- Halling, P. J. 1981. Protein-stabilized foams and emulsions. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 15(2):155-203.
- Hank, C. R., Kunkel, M. E., Dawson, P. L., Acton, J. C. y Wardlaw, Jr. F. B. 2001. Efecto de la Pasteurización de la Cáscara de Huevo en la Calidad Proteínica del Albumen. *Poultry Science.* 80:821-824.
- Hegg, P. O., Martens, H. y Löfquist, B. 1979. Effect of pH and neutral salts on the formation and quality of thermal aggregates of ovalbumin. A study on thermal aggregation and denaturation. *Journal of Science Food and Agriculture.* 30:981.
- Hsu, H., Vavak, D., Satterlee, L., y Miller, G. 1977. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science.* 42(5):1269-1279.
- Kanterewicz, R. J. De, Elizalde, B. E., Pilosof, A. M. R. y Bartholomai, G. B. 1987. Water-Oil absorption index (WOAI): A simple method for predicting the emulsifying capacity of food proteins. *Journal of Food Science.* 52(5):1381-1383.
- Kato, A. 1995. Interactions of egg white proteins. En: Ingredient Interactions, Effects on food quality. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 357-375.
- Kinsella, J. E. 1981. Functional properties of proteins: possible relationships between structure and functions in foams. *Food Chemistry* 7(4):273-288.
- Lucotte, G. La codorniz, cría y explotación. 1980. Ed. Mundi Pilsa. 2ª ed. pp. 23-54.
- Martínez, E. N. y Añon, M. C. 1996. Composition and structural characterization of amaranth protein isolates. An electrophoretic and calorimetric study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44: 2523-2530.
- Matsuda, T., Watanabe, K. y Sato, Y. 1981. Heat-induced aggregation of egg white proteins as studied by vertical flat-sheet polyacrylamide gel electrophoresis. *Journal of Food Science.* 46:1829-1834.

- Matsuda, T., Watanabe, K. y Sato, Y. 1982. Interaction between ovomucoide and lysozyme. *Journal of Food Science*. 47:637-641.
- Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamericana. México, D.F. pp 14-27.
- Morr, C. V., German, B., Kinsella, J. E., Regenstein, J. M., Van Buren, J. P., Kilara, A., Lewis, B. A. y Mangino, M. E. 1985. A collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. *Journal of Food Science*. 50:1715-1718.
- Myers, C. 1990. Study of thermodynamics and kinetics of protein stability by thermal analysis. En: Thermal analysis of foods. Elsevier Science Publishing Co., Inc. New York, USA. Cap. 2. pp. 16-50.
- Nakamura, R., Takayama, M., Nakamura, K. y Umemura, O. 1980. Constituent proteins of globulin fraction obtained from egg white. *Agric. Biol. Chem.* 44:2357-2362.
- NOM-159-SSA1-1996. Bienes y servicios. Huevo, sus productos y derivados. Disposiciones y especificaciones sanitarias.
- Pérez y Pérez, F. 1974. Tratado de coturnicultura. Ed. Científico-Médica. Zaragoza, España. 7ª ed. pp. 14-58.
- Pérez, F. V. 1999. Caracterización funcional de concentrados proteicos de *Phaseolus lunatus* y *Canavalia ensiformis*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería Química-Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Phillips, M. C. 1981. Protein conformation at liquid interfaces and its role in stabilizing emulsions and foams. *Food Technology*. 35 (1):50-51, 54-57.
- Pilosof, A. M. R. y Bartholomai, G. B. 2000. Caracterización funcional y estructural de proteínas. Ed. Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. pp. 41-42, 55-56.
- Raeker, M. Ö. y Johnson, L. A. 1995. Thermal and functional properties of bovine blood plasma and egg white proteins. *Journal of food science*. 60 (4):685-690.
- Ramírez, O. L. 2001. Alternativas para la industrialización del huevo de codorniz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química-Universidad Nacional Autónoma de México. México.

- Richert, S. H. 1979. Physical-chemical properties of whey protein foams. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 27(4):665-668.
- Sánchez-Vioque, R., Clemente, A., Vioque, J., Bautista, J. y Millán, F. 1999. Protein isolates from chickpea (*cicer arietinum L*): Chemical composition, functional properties and protein characterization. *Food Chemistry*. 64:237-243
- Schagger, H., y Jagow, V. 1987. Tricine-Sodium dodecil sulfate poliacrylamide gel electrophoresis for the separation of protein in the range from 1 to 100 kDa. *Analytical Biochemistry* 166:368-379.
- Stadelman, W. J. y Cotterill, O. J. 1995. Egg science and technology. Ed. Haworth Press, Inc. New York, USA. pp. 105-151, 335-376.
- URL: <http://www.agridata.mg.gov.or/foolahovo.htm>
- Vani, B. y Zayas, J. F. 1995. Foaming properties of selected plant and animal proteins. *Journal of Food Science*. 60 (5):1025-1028.
- Wilcheck, M. y Bayer, E. A. (Editors) 1990. Avidin-Biotin Technology. *Methods in Enzymology* 184.
- Wijeratne, W. B. 1995. Propiedades funcionales de las proteínas de soya en un sistema de alimentos. *Soyanoticias* 242:13-19.