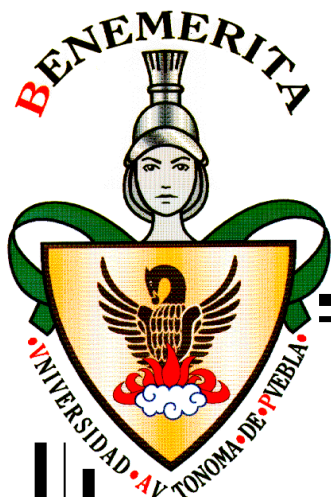




BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
INGENIERÍA QUÍMICA

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE CAPACIDAD ESPUMANTE DE ALOE VERA Y ALBÚMINA DE HUEVO”

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA:

ANA VICTORIA RUGERIO SUÁREZ

DIRECTOR:

DRA. VERÓNICA SANTACRUZ VÁZQUEZ

2014



C. Ana Victoria Rugerio Suárez
PASANTE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA
PRESENTE

Oficio No. FIQ/AC/541/2013
Asunto: Registro de Tema de Tesis
Fecha: 31 de Mayo de 2013

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Química cuyo titulo es el siguiente:

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE CAPACIDAD ESPUMANTE DE PULPA DE ALOE VERA Y ALBÚMINA DE HUEVO”

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES.
CAPÍTULO 2	MATERIALES Y MÉTODOS
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Director de Tesis: Dra. Verónica Santacruz Vázquez

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO**.

ATENTAMENTE
“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”
M.I.C. MA. GPE. TITA VÁZQUEZ E. DE LOS MONTEROS
SECRETARIA ACADÉMICA

SECRETARIA
ACADÉMICA
C.c.p. Director de Tesis : Dra. Verónica Santacruz Vázquez
Minutario Facultad de Ingeniería Química



**Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CIUDAD UNIVERSITARIA

**C.P. José Juan Morales Rodríguez
Directora de la Administración Escolar
De la BUAP.
Presente**

**ASUNTO:
AUTORIZACIÓN
IMPRESIÓN DE TESIS**

Por este conducto me permito presentar a Ud. al C. pasante de la carrera de Ingeniería Química

Ana Victoria Rugerio Suárez

Quién presenta como tema de tesis:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE CAPACIDAD ESPUMANTE
DE PULPA DE ALOE VERA Y ALBÚMINA DE HUEVO**

La cual ha sido debidamente revisada y se autoriza para su impresión correspondiente.

Sin otro particular y para los fines que se estimen conducentes reitero mi distinción.

ATENTAMENTE
"Pensar Bien, para Vivir Mejor"
H. Puebla de Z., a 27 de febrero de 2014

Director de Tesis
Dra. Verónica Santacruz Vázquez

AGRADECIMIENTOS:

A DIOS

Por darme la oportunidad de cumplir mis sueños, y principalmente por darme una familia que me da el amor y el apoyo para cumplir con mis metas.

A MI HIJA

Marina Evelyn Muñoz Rugerio

Que es y será la motivación más grande de mi vida para ser una mejor persona. Por enseñarme las cosas importantes de la vida y por darme el más puro y sincero amor.

A MI ESPOSO

José David Muñoz Reyes

Por su apoyo incondicional, por creer en mí. Y principalmente por su amor y cariño.

A MIS PAPAS

José Leoncio Rugerio Trujillo y Josefina Suárez Silva

Por ser mi ejemplo de vida y por darme siempre e incondicionalmente su apoyo y amor.

A MIS HERMANOS

Ernesto Rugerio Suárez y Juan Pablo Rugerio Suárez

Por su apoyo, amor y comprensión.

A MIS SUEGROS Y CUÑADOS

Por su apoyo incondicional para poder terminar mi carrera profesional.

A MI ASESORA:

Dra. Verónica Santacruz Vázquez.

Quiero agradecerle de una manera muy especial por toda la ayuda, tiempo, consejos y comprensión que me ha brindado para poder realizar este proyecto. Gracias por el apoyo incondicional que me brinda.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivo específico.....	3
HIPÓTESIS.....	3
 CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO.....	 4
1.1 Dispersiones alimenticias.....	4
1.1.1 Estado coloidal.....	4
1.1.2 Fenómeno de superficie y de interface.....	5
1.2 Espumas o batidos alimenticios.....	7
1.2.1 Componentes de la espuma.....	9
1.2.2 Formación de una espuma.....	11
1.2.3 Desestabilidad de la espuma.....	13
1.2.4 Estabilidad de la espuma.....	13
1.2.5 Factores ambientales que influyen en la formación y estabilidad de la espuma.....	14
1.2.6 Agentes estabilizantes, espesantes o gelificantes.....	15
1.3 Proteínas.....	17
1.3.1 Propiedades interfaciales de las proteínas.....	19
1.4 Huevo.....	21
1.4.1 Proteínas del huevo.....	23
1.4.2 Factores influyentes para la formación de espuma de clara de huevo.....	25
1.5 Aloe Vera.....	29
1.5.1 Composición química.....	30

1.5.2 Propiedades antimicrobianas.....	31
1.5.3 Propiedades nutricionales y funcionales del <i>Aloe vera</i>	31
1.6 Métodos de deshidratación.....	32
1.6.1 Liofilización.....	33
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
2.1 Determinación de madures de la planta de <i>Aloe vera</i> (<i>Barbadensis miller</i>).....	35
2.2 Obtención de la pulpa de <i>Aloe vera</i>	35
2.3 Obtención de espumas de <i>Aloe vera</i> (<i>Barbadensis miller</i>) y Albúmina de huevo.....	35
2.4 Determinación de condiciones en la liofilización de espumas de <i>Aloe vera</i> y Albúmina de huevo.....	36
2.5 Caracterización Microscópica.....	37
2.6 Caracterización física.....	38
2.6.1 Caracterización de textura.....	37
2.6.2 Contenido de humedad y densidad.....	37
2.6.3 Color.....	39
2.6.4 Determinación de porosidad.....	39
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
3.1 Obtención de mucilagos y espumas de <i>Aloe vera</i> y albúmina de huevo.....	41
3.2 Caracterización de espumas frescas de <i>Aloe vera</i> y albúmina de huevo.....	42
3.3 Obtención de espumas liofilizadas de <i>Aloe vera</i> y albúmina de huevo.....	51
3.3 Caracterización Microscópica.....	53
3.4 Determinación de textura.....	55
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFIA.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

Figura 1.1 Fase continua y dispersa de una dispersión.....	4
Figura 1.2 Fuerzas de atracción de las moléculas internas y de la superficie.....	6
Figura 1.3 Enlace puente de hidrogeno.....	7
Figura 1.4 Fuerzas de dispersión de London.....	7
Figura 1.5 Espuma alimenticia característica.....	8
Figura 1.6 Método de dispersión.....	11
Figura 1.7 Método por condensación.....	11
Figura 1.8 Composición de un aminoácido.....	17
Figura 1.9 Sustancia anfifílica.....	20
Figura 1.10 Estructura del huevo.....	22
Figura 1.11 Espuma de clara de huevo.....	27
Figura 1.12 Aloe vera.....	29
Figura 1.13 Mucilago de Aloe vera.....	30
Figura 1.14 Estructura química del glucomanano.....	32
Figura 1.15 Efectos visibles de la deshidratación.....	32
Figura 1.16 Proceso de Liofilización.....	33

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Figura 2.1 Liofilizador Labconco R-1000.....	37
Figura 2.2 Microscopio MEB de bajo vacío JSM-5300.....	37
Figura 2.3 Texturometro universal TAXT2.....	38
Figura 2.4 Termobalanza de humedad Ohaus MB45.....	38

CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 3.1 Obtención de espumas de <i>Aloe vera</i>	41
---	----

Figura 3.2 Obtención de espumas de Albúmina de huevo.....	41
Figura 3.3 Densidad de la espuma albúmina de huevo fresco como una función de concentración de goma durante el proceso de batido.....	43
Figura 3.4 Densidad de la espuma de Aloe vera como una función de la concentración de goma durante el proceso de batido.....	44
Figura 3.5 Curvas de secado por liofilización de espumas de albúmina a con diferentes concentraciones de goma guar.....	48
Figura 3.6 Pérdida de agua en la espuma de <i>Aloe vera</i> durante la liofilización.....	50
Figura 3.7 Cambios de la velocidad de secado con respecto a la humedad de las espumas de albúmina a diferentes concentraciones de goma guar.....	50
Figura 3.8 Espumas liofilizadas de <i>Aloe vera</i> a diferentes concentraciones de goma....	51
Figura 3.9 Espumas liofilizadas de albúmina de huevo a diferentes concentraciones de goma guar.....	52
Figura 3.10 Proceso de almacenamiento.....	52
Figura 3.11 Micrografía de espuma de <i>Aloe vera</i> con ácido ascórbico.....	54
Figura 3.12 Micrografía de espumas de Aloe vera con goma guar.....	54
Figura 3.13 Vista microscópica de poros en espuma liofilizada de albúmina de huevo...	54
Figura 3.14 Determinación de textura de las espumas de Aloe vera.....	55
Figura 3.15 Determinación de dureza de espumas de albúmina de huevo.....	56
Figura 3.16 TPA grafica del texturómetro.....	57
Figura 3.17 Incremento de fuerza con respecto al porcentaje de goma guar.....	57

ÍNDICE DE TABLAS DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

Tabla 1.1 Tipos de estados coloidales dispersiones alimentarias difásicas.....	5
Tabla 1.2 Poderes espumantes de diferentes proteínas.....	21

Tabla 1.3 Composición global del huevo.....	22
Tabla 1.4 Propiedades tecnofuncionales de la clara de huevo.....	24
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS	
Tabla 2.1 Diseño experimental empleado en la experimentación.....	36
CAPÍTULO 3 RESULTADO Y DISCUSIONES	
Tabla 3.1 Características de las espumas de albúmina durante el proceso de batido.....	45
Tabla 3.2 Características de las espumas de <i>Aloe vera</i> durante el proceso de batido....	45
Tabla 3.3 Validación de humedad de las espumas de albumina de huevo.....	46
Tabla 3.4 Validación de humedad de las espumas de <i>Aloe vera</i>	47
Tabla 3.5 Valores de los coeficientes de difusión efectivos de espumas de albúmina y <i>Aloe vera</i> durante el secado por liofilización.....	51
Tabla 3.6 Caracterización de color de las espumas solidas obtenidas.....	53

ÍNDICE DE ECUACIONES

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

Ecuación 1.1 Presión de un gas en una burbuja.....	11
Ecuación 1.2 Tamaño de una burbuja.....	12
Ecuación 1.3 Elasticidad de una burbuja.....	14
Ecuación 1.4 Sobrerrendimiento.....	20
Ecuación 1.5 Poder espumante.....	20

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Ecuación 2.1 Diferencia neta de calor.....	39
Ecuación 2.2 Indicador de espuma.....	39
Ecuación 2.3 Factor de expansión.....	39
Ecuación 2.4 Porosidad espumas frescas.....	40
Ecuación 2.5 Factor de estabilidad.....	40

INTRODUCCIÓN

Los sistemas alimenticios se dividen en dos grupos principales, el primero consistente en tejidos comestibles intactos como frutas y tejidos animales que están formados por células unidas por polímeros adhesivos y membranas, mientras que el segundo grupo está conformado por dispersiones alimenticias por una o más fases dispersas o discontinuas en una fase continua (Owen, 1985).

Una dispersión alimentaria contiene una amplia variedad de partículas dispersas, entre ellos cristales, materia sólida amorfa, fragmentos celulares, células y burbujas de gas, cuya fase continua es el agua o un aceite comestible (Owen, 1985).

Las dispersiones coloidales se encuentran clasificadas dentro del estado coloidal, estado que se caracteriza por la existencia de partículas dispersas en una fase continua. Estas partículas llamadas micelas tienen un tamaño comprendido entre $1\text{ }\mu\text{m}$ (10^{-6} m) y 1 nm (10^{-9} m). Las dispersiones coloidales pueden encontrarse en diversos estados físicos: sistemas bifásicos (aceite-agua) denominados emulsiones como mayonesas, aderezos y sistemas trifásicos (aceite agua aire) (aceite hielo aire) a los cuales se denominan espumas (Cherfel 1989).

Se entiende como espuma una dispersión de burbujas de gas en un fase líquida o semisólida, en donde las burbujas están separadas entre sí por paredes líquidas o semisólidas, también denominadas películas o lamelas (Owen, 1985). En general, las espumas se forman por la agitación de aire en un líquido que tenga baja tensión superficial o contenga un agente tenso-activo. Por ejemplo algunas proteínas, tal como la albúmina de la clara de huevo (Owen, 1985).

Las espumas son sistemas fisicoquímicos ampliamente empleados en la industria de los alimentos, no obstante dado que las tendencias actuales exigen alimentos novedosos en cuanto a sabor, color, olor y textura, este último parámetro se encuentra relacionado con la aceptación de una gran variedad de productos tales como vinos, sidras, cervezas, mousses, todos ellos relacionados con las espumas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las espumas son sistemas coloidales en la que diminutas burbujas de aire se dispersan en una fase continua acuosa. Las proteínas de la albúmina de huevo actúan como emulsificantes anfifílicos entre la fase de aire y la fase acuosa para estabilizar la espuma. Una gran desventaja de las espumas definidos como sistemas fisicoquímicos multifásicos es su alta inestabilidad y corta vida útil. La espumabilidad y la estabilidad de la espuma son las más importantes funcionalidades de la albúmina de huevo por lo que se han encontrado una serie de aplicaciones en los alimentos.

Desde el punto de vista comercial la albúmina de huevo para la formación de espuma tiene algunos inconvenientes entre ellos el rango de pH y la fuerza iónica para un buen rendimiento. La variabilidad en la capacidad de formación de espuma en la albumina de huevo es otra limitante (Mieko y col.,2007).

Los estudios realizados a la pulpa de *Aloe vera* (Barbadensis miller), se le han atribuido diversos efectos medicinales, algunos de estos efectos de relevancia son: analgesia, cicatrización, el poder desinflamatorio, efecto antibiótico y protector de piel. Actualmente se ha demostrado que los tratamientos térmicos aplicados a la obtención de infusiones disminuyen el poder curativo de las sustancias activas contenidas en la pulpa de *Aloe vera* debido a su descomposición térmica y oxidación de sus compuestos activo.

Con respecto a la capacidad espumante de la pulpa de *Aloe vera*, dada su alta concentración de gomas se ha demostrado que existe cierta factibilidad en la aplicación de la técnica para su formulación como espuma.

JUSTIFICACIÓN

Las espumas son sistemas fisicoquímicos altamente inestables y su vida útil varía de acuerdo a las condiciones del medio, tiempo de batido, temperatura, pH, etc. Sin embargo la estabilidad de la gran mayoría de las espumas es baja con un tiempo de vida corto que varía desde minutos hasta un máximo de 24 horas por lo que estas pierden la estructura física deseable y una limitada aplicación a nivel industrial. Se han desarrollado diferentes metodologías para su conservación, no obstante en este trabajo se pretende emplear el método de liofilización como una forma de conservación física para la obtención de espumas sólidas estables.

La capacidad espumante puede definirse como la habilidad de incorporar aire en la solución en forma de una distribución fina de burbujas. La albúmina de huevo posee una gran capacidad espumante y retener de forma prolongada gas en forma de pequeñas burbujas rodeadas de finas películas proteicas que son razonablemente estables, es por ello que tiene innumerables aplicaciones en alimentos como en repostería (Mleko y col., 2007).

OBJETIVOS

Objetivo general

- Obtener un análisis comparativo de las propiedades físicas y capacidad espumante de las espumas liofilizadas de *Aloe vera* (*Barbadensis miller*) y albúmina de huevo.

Objetivos particulares

- Determinar los parámetros óptimos de operación de liofilización para obtener las espumas liofilizadas de la pulpa de *Aloe vera* y albúmina de huevo.
- Determinar las características físicas de la espuma de *Aloe vera* y albúmina de huevo.

HIPÓTESIS

Es posible aplicar el proceso de liofilización para la obtención de espumas sólidas de *Aloe vera* y albúmina de la clara de huevo y obtener su caracterización física, para su posterior aplicación en la industria alimentaria.

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1 DISPERSIONES ALIMENTICIAS

Una dispersión consiste en la unión forzada de dos fases no miscibles de manera natural. En una dispersión se distingue la fase dispersa y la fase continua como se muestra en la Fig1.1. La fase dispersa se mantiene distribuida, en forma de gotitas en la fase continua, obteniendo así una mezcla homogénea y estable entre las dos sustancias inmiscibles. Esta organización se consigue por el carácter dipolar del emulsionante, que le permite orientarse en la zona de la interface y favorece un estado de equilibrio entre las dos fases (Cheftel, 1989).

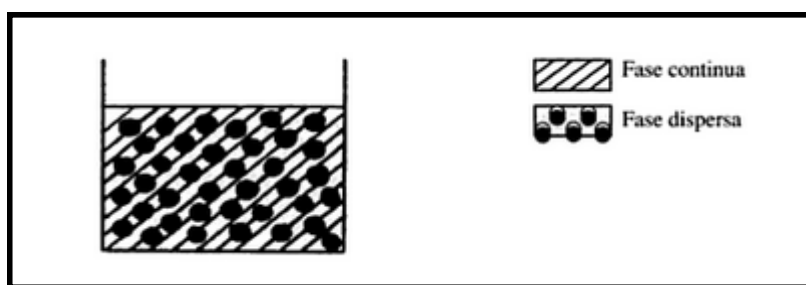


Figura 1.1 Muestra la fase continua y dispersa de una dispersión

Una dispersión puede ser algo tan sencillo como las soluciones de azúcar y proteínas o tan compleja como la crema batida, que contiene una amplia variedad de partículas dispersas, entre ellos cristales, materia sólida amorfa, fragmentos celulares, células y burbujas de gas. En la mayoría de los casos, la fase continua es el agua o un aceite comestible (Owen, 1985).

Los sistemas alimentarios suelen contener material particulado que se acumula en las interfaces de aceite-agua y agua-aire y contribuye a la estabilización coloidal de emulsiones y espumas al que se denomina agente emulsificante, cuya actividad es fundamental para el desarrollo de sistemas coloidales estables. El rango de tamaño de las partículas que intervienen en la estructuración de estos sistemas durante y después de emulsificación y formación de espuma puede variar ampliamente de unos pocos nanómetros a decenas de micrómetros (Dickinson, 2009).

1.1.2 ESTADO COLOIDAL

El estado coloidal se caracteriza por la existencia de partículas de un constituyente disperso en una fase continua de otro constituyente. Estas partículas llamadas micelas tienen un tamaño

comprendido entre 1 μm (10^{-6} m) y 1nm (10^{-9} m) y pueden ser agregados de moléculas o simplemente moléculas de gran tamaño (Cheftel J; 1989).

Las dispersiones se clasifican en función del tamaño o del estado físico de las partículas. Una solución (dispersión molecular) es un sistema de fase única con moléculas de tamaño inferior a 1nm. En contraposición, las dispersiones coloidales constan de dos o más fases. La transparencia, presión osmótica, propiedades de difusión y características reológicas (deformación de la materia) de las soluciones de fase única (por ejemplo soluciones de sacarosa) son muy distintas de aquellas dispersiones de dos o más fases. Los sistemas con dos fases (difásicos) admiten ocho combinaciones distintas de fases pero solo cinco de ellas tienen interés en la industria alimentaria como se muestran en la Tabla 1.1. (Owen. 1985)

Tabla 1.1 Tipos de estados coloidales dispersiones alimenticias difásicas

Fase dispersa A	Fase Continua B	A/B	Nombre de la dispersión	Ejemplo
Sólido S	Líquido L	S /L	Sol	Leche descremada
Líquido L	Líquido L	L/L	Emulsión	Salsas para ensaladas
Gas G	Líquido L	G/L	Espuma	Merengue
Gas G	Sólido S	G/S	Espuma solida	Helado
Sólido S	Gas G	S/G	Aerosol sólido	Humo para aromatizar alimentos

(Fuente: Introducción a la ciencia de alimentos (Owen 1985)

La estabilidad de una dispersión alimenticia depende de las características de interface, distribución del tamaño de las partículas, viscosidad de la fase continua, relación fase-volumen y diferencia de densidad entre las fases (Owen.1985).

1.1.3 FENÓMENOS DE SUPERFICIE Y DE INTERFACE

Dado que las características de la superficie o de la interface guardan relación de formación, propiedades físicas y estabilidad de las dispersiones alimenticias, es fundamental revisar los conceptos básicos de los fenómenos de superficie antes de considerar las dispersiones alimentarias (Owen, 1985).

El límite entre un líquido y un gas suele designarse “superficie” mientras que en otras combinaciones de fase, la unión se llama “interface”(Owen, 1985).

Las moléculas de la interface se comportan de distinto modo que las del interior de la fase. Puesto que una molécula en el interior de una fase líquida es atraída con la misma fuerza en todas las direcciones hacia las otras moléculas más cercanas cuyas fuerzas de atracción están equilibradas. Sin embargo, las moléculas de la superficie o interface no están totalmente rodeadas por otras del mismo tipo y estado físico. La atracción interna tiende a reducir el número de moléculas de la superficie o interface y, en consecuencia, se reduce al mínimo la superficie o área entre las fases. Las fuerzas que originan reducción de la superficie o del área entre las fases se denominan, respectivamente, tensión superficial y tensión de interface como se muestra en la Fig. 1.2. Estas tensiones, (γ), se expresan en dinas por centímetro, a temperatura, presión y concentración constantes (Owen. 1985).

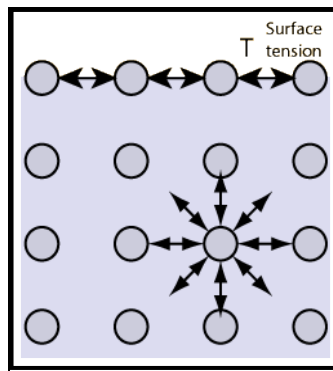


Figura 1.2 Fuerzas de atracción de las moléculas internas y de la superficie

Las atracciones intermoleculares, responsables de las tensiones superficiales y de interface del líquido, incluyen a los enlaces puentes de hidrógeno como se muestra en la Fig.1.3 y a las fuerzas de dispersión de London Fig.1.4. En los compuestos polares, tales como el agua, ambas fuerzas son importantes, mientras que en los líquidos no polares, como los triglicéridos, solo son activadas las fuerzas de dispersión de London (Owen, 1985).

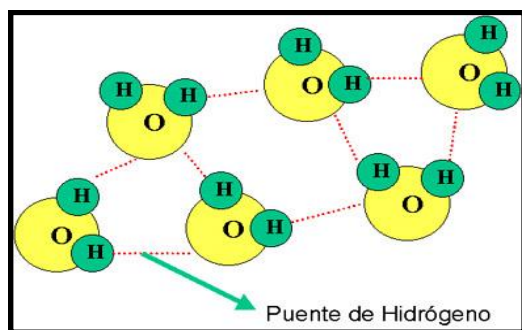


Figura 1.3 Enlace de puente de hidrogeno

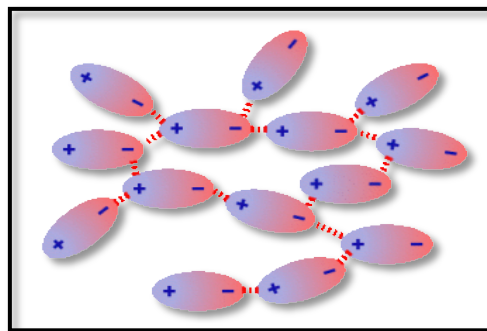


Figura 1.4 Fuerzas de dispersión de London

Para incrementar el área de una superficie, se requiere un trabajo de agitación a fin de recuperar las fuerzas de atracción, de manera que las moléculas del interior puedan desplazarse hacia la región superficial. El trabajo de expansión de la superficie se expresa en ergios por centímetro cuadrado, que numéricamente coincide con la tensión superficial ($1 \text{ ergio} = 1 \text{ dina/cm}$); El trabajo en ergios por centímetro cuadrado es igual al cambio de energía libre de expansión. La energía total de superficie total (E_s) necesaria para dilatar la superficie 1 centímetro cuadrado es la suma del trabajo y el calor necesarios (Owen, 1985).

Al incrementar la temperatura de una fase líquida aumenta la energía cinética de las moléculas y disminuyen las fuerzas de atracción entre ellas. Así la tensión superficial de un líquido disminuye al aumentar la temperatura. Uno de los métodos más usuales para medir las tensiones de superficie y de interface de un líquido requiere el uso de un tensiómetro de Du Nouy que, en esencia, consiste en una balanza de torsión con un anillo de platino suspendido del brazo. La fuerza aplicada (F), es aproximadamente igual a la ejercida hacia abajo (Owen, 1985).

1.2. ESPUMAS O BATIDOS ALIMENTICIOS

Las espumas son dispersiones coloidales de un gas o mezcla de gases suspendidos en una fase dispersante líquida viscosa o un semisólido. Las burbujas de aire están separadas entre sí por paredes líquidas o semisólidas, también denominadas películas o lamela, que en espumas estables son elásticas (Owen, 1985).

A causa de la gran extensión de la superficie de la fase líquida, la estabilidad de las espumas es mínima; el líquido tiene tendencia a separarse por su peso. Por otro lado la película se puede romper

bajo el efecto de colisiones y permitir la coalescencia (unirse en un solo cuerpo) de la burbujas de gas (Owen, 1985).

Existen una gran variedad de espumas o batidos alimenticios, de consistencia tales como el merengue, el marshmallow inglés y productos de pastelería tal como la crema batida, algunas pastas, los helados, soufflés , la espuma de la cerveza incluso el pan. En numerosos casos el gas es el aire y la fase continúa una solución o suspensión acuosa que contiene proteínas. Algunas espumas o batidos alimenticios son sistemas coloidales muy complejos. Por ejemplo los helados contienen una emulsión (o suspensión) de glóbulos grasos, con una suspensión de cristales de hielo dispersos, un gel polisacárido, una solución concentrada de azúcares, proteínas y burbujas de aire (Owen, 1985).

Las propiedades físicas de las espumas alimenticias y productos aireados por lo tanto, pueden ser consideradas como un resultado de características de burbuja (tamaño) y su disposición espacial (Germain y Agulera 2011).

En las espumas o batidos, hay una fase continua de capas líquidas delgadas llamadas laminillas, que separa las burbujas de gas. La interface gas/líquido puede alcanzar 1 m por ml de líquido. Al igual que en las emulsiones, se necesita energía mecánica para crear esta interface (Owen, 1985).

Como se puede observar en la Fig.1.5 las características de las espumas alimenticias típicas son:

- 1.- Contener gran cantidad de gas retenido (baja densidad)
- 2.- Tener gran superficie entre la fase gaseosa y la continua líquida
- 3.- Poseer mayor concentración de soluto en la superficie que en la masa líquida
- 4.- Turgencia y elasticidad en sus paredes rígidas o semirrígidas



Figura 1.5 Espuma alimenticia característica

Existe una gran área superficial en las burbujas de una espuma, lo que aumenta su energía libre de Gibbs. Si la espuma es estable, debe existir una disminución de la tensión superficial entre la lamela y el aire que la rodea. El diámetro de las burbujas de una espuma varía en tamaño desde 1 μm hasta varios cm (Badui, 2006)

1.2.1 COMPONENTES DE LA ESPUMA

En una espuma se pueden distinguir tres partes: a) La matriz continua que engloba las burbujas b) El gas que ocupa las mismas c) El surfactante o mecanismo de interfaz que las estabiliza; Existe una gama de espumas naturales y artificiales con diferentes tipos de matrices líquidas y de gases y con usos muy variados que van desde aislantes térmicos hasta materiales de extinción de incendios (Goff, 2005).

a)Matriz: Aunque en otros tipos de espumas pueden aparecer como matriz diversos líquidos, en las espumas alimentarias la matriz es siempre de naturaleza acuosa pero normalmente lleva incorporados una amplia variedad de solutos o sustancias dispersas, desde proteínas y almidón o grasa emulsionada. La matriz es una mezcla compleja por si misma lo que modifica sus propiedades, especialmente su viscosidad (Goff D.-2005).

b) El gas: El contenido en las burbujas puede ser de diferentes tipos e incorporarse de diversas formas; El caso más sencillo es el simple batido físico que permite incorporar aire, es además el más común (Goff D.-2005).

El CO_2 aparece en las espumas obtenidas por mezclas gasificantes, en las obtenidas por fermentación de azúcares y en las que se han incorporado artificialmente a altas presiones. En los

dos primeros casos el CO_2 se forma mediante reacción química a partir de sustancias no gaseosas presentes en el líquido como solutos. Cuando se incorpora una mezcla gasificante el problema reside en retardar la reacción que libera el gas hasta el momento deseado; se puede añadir uno de los reactivos en el momento preciso, mantenerlos separados con algún tipo de encapsulamiento, mantener condiciones de temperatura o pH poco propicias a la reacción. En las de fermentación se recurre a reacciones bioquímicas con intervención de seres vivos, que solamente entrarán en actividad al cabo de cierto tiempo y en condiciones adecuadas a su desarrollo; este es el caso de las masas subidas por fermentación de azúcares con levaduras y el de las bebidas gasificadas de forma natural como los cavas y demás vinos espumosos. Por último en el caso de bebidas gasificadas artificialmente el gas se incorpora disolviéndolo en el líquido a presiones elevadas que condicionan una gran solubilidad. La presión se mantiene mientras el contenedor permanezca cerrado, pero al abrirlo o al dejar salir parte de su contenido, la brusca caída de presión hace que sobrepase su solubilidad y se libere (Goff, 2005).

Recientemente se está utilizando como gas en algunos casos el N_2 o el NO_2 . Estos gases tienen la ventaja de ser bastante apolares y por lo tanto poco miscibles con la matriz acuosa, lo que reduce sensiblemente la pérdida de gas a través de la membrana que limita las burbujas. Se utiliza N_2 en algunas cervezas embotelladas incorporándolo a alta presión. En los sifones de espumas el gas incorporado suele ser NO_2 que se introduce a través de una válvula en el sifón herméticamente cerrado y se dispersa después por agitación; En las masas horneadas, gran parte del gas puede ser vapor de agua producido por calentamiento de la matriz acuosa de la masa; evidentemente este no es un gas que proporcione estabilidad en la espuma ya que, por debajo de los 100°C vuelve a pasar a líquido; este fenómeno está en la base de las espectaculares subidas y no menos espectaculares colapsos de algunos productos como bizcochos y soufflés. Existen métodos, que se tratarán más adelante, para evitar o al menos disminuir, el indeseado colapso (Goff, 2005).

c) El surfactante: El papel de surfactante, de un modo o de otro suele corresponder a las proteínas que, bien por su estructura original o bien tras ser desnaturalizadas, presentan zonas polares e hidrófilas y otras apolares e hidrófobas. Esto comprende una gama amplísima de proteínas, desde las gelatinas obtenidas al desnaturalizar colágeno hasta las ovoglobulinas y ovotransferrinas de la clara de huevo, pasando por las proteínas del suero de leche o las que aparecen en la cerveza o los cavas (Goff, 2005).

1.2.2 FORMACIÓN DE UNA ESPUMA

En general, las espumas se forman por la agitación de aire de un líquido que tenga baja tensión superficial o contenga un agente tenso-activo. Por ejemplo algunas proteínas, tal como la albúmina de la clara de huevo, son buenos agentes espumantes (Owen, 1985).

La formación de una espuma depende de la presencia de un espumante en la fase continua, antes de la dispersión del gas. Los líquidos puros y las soluciones saturadas (excepto los tenso-activos) no producen espumas. El espumante debe ser adsorbido en la superficie para reducir la tensión superficial y proporcionar determinada capa superficie que resiste la coalescencia de las burbujas de gas. Los métodos se clasifican en: lípidos tenso activos, glucósidos, derivados de la celulosa y proteínas. La selección del tipo de espumante depende de las propiedades que se deseen, como, por ejemplo, características de textura, densidad y estabilidad (Owen, 1985).

Las espumas se forman por dispersión o condensación. En el primer método se inyecta el gas en la solución con paletas o cintas giratorias como se muestra en la Fig. 1.6. En el de la condensación, se disuelve el gas a presión, parte del gas disuelto la abandona y se expande todo el gas del sistema para crear espuma Fig. 1.7. La crema batida procedente de un recipiente aerosol se obtiene mediante este método. (Owen, 1985)



Figura 1.6 Método por dispersión



Figura 1.7 Método por condensación

Las burbujas de las espumas de baja densidad se deforman, adoptando forma poliédrica y hay gran presión interna. La presión del gas, ligeramente positiva en la pared interior de una burbuja de gas, proporciona turgencia que disminuye cuando baja la tensión superficial. La presión del gas en una burbuja se expresa mediante la ecuación de Laplace: (Owen, 1985)

$$P = P_a + \frac{4\gamma}{R}$$

Ecuación 1.1

Donde

P_a es la presión atmosférica

γ es la tensión superficial

R es el radio de curvatura de la burbuja

De esta ecuación resulta claro que las burbujas pequeñas tienen grandes presiones internas.

El tamaño de la burbuja influye en la estabilidad y densidad de una espuma.

En espumas formadas por inyección vertical de gas a través de un orificio, el tamaño de la burbuja se calcula a partir de:

$$R^3 = \frac{3r\gamma}{2g\rho} \quad \text{Ecuación 1.2.}$$

Donde:

R es el radio de la burbuja

r es el radio del orificio

γ la tensión superficial de la solución espumante

g la aceleración debida a la gravedad

ρ la densidad de la solución espumante

El tamaño de la burbuja es proporcional al radio de orificio y a la tensión superficial e inversamente proporcional a la densidad. Si se introduce el gas en la solución por agitación mecánica, el tamaño de la burbuja depende prácticamente de la tensión superficial, así como de la velocidad y duración de ruptura (Owen, 1985).

Si se introduce grandes cantidades de gas el líquido puede convertirse completamente en espuma, aun partiendo de soluciones proteicas diluidas (Cheftel, 1989).

Las espumas o batidos pueden obtenerse por batido o agitación de una solución acuosa de proteína en presencia de una gran masa gaseosa. En la mayoría de los casos, para los productos alimenticios se prefiere el batido para hacer espumas. Por comparación con el “burbujeo” el batido presupone fuerzas mecánicas más intensas y consigue una dispersión más uniforme del gas (Cheftel, 1989).

Estas fuerzas mecánicas afectan tanto a la coalescencia como a la formación de burbujas e impiden la absorción de las proteínas en la interface. Lo que exige una mayor necesidad de proteína. Durante el batido, el volumen de aire se incorpora pasando corrientemente por un máximo (lo que indica que el equilibrio es dinámico) y en este caso el aumento de volumen se sitúa entre 300 y 200% (Cheftel, 1989).

Una diferencia significativa entre las emulsiones y las espumas, está en el hecho que en estas la fracción de volumen ocupada por la fase dispersa (gas), varía en una escala mucho mayor que con las emulsiones (Cheftel, 1989).

1.2.3 DESESTABILIDAD DE LA ESPUMA

Existen básicamente tres mecanismos de desestabilización:

1) Drenado o pérdida del líquido de la lámina líquida por gravedad, diferencia de presión y/o evaporación.

En las espumas de baja densidad, las burbujas tienden a presionarse estrechamente unas contra las otras, lo que aumenta la pérdida de líquido de las laminillas.

2) Difusión del gas de las burbujas pequeñas hacia las burbujas grandes, difusión que es posible por la disolución de gas en la fase acuosa.

3) Ruptura de la laminilla líquida que separa las burbujas de gas; estructura provoca un aumento del tamaño de las burbujas por coalescencia y conduce, en definitiva, a un derrumbe de la espuma (Cheftel, 1989).

1.2.4 ESTABILIDAD DE LA ESPUMA

La estabilidad de la espuma se aumenta elevando la viscosidad de la fase líquida dispersante, bajando la tensión de interfaces como la ayuda de agentes espumantes (son la mayoría de los

agentes emulsionantes usuales) y aumentando la carga electrostática y elasticidad de las películas líquidas.

Los tres factores más importantes que contribuyen a estabilizar las espumas son: una baja tensión entre fases, una fuerte viscosidad de la fase líquida y películas de proteína absorbidas resistentes y elásticas (Chefftel, 1989).

Las espumas de clara de huevo se estabilizan a causa de la coagulación de la fase continua.

Para elevar la estabilidad de la espuma se incrementa la elasticidad de la pared de la burbuja, se aumenta la viscosidad de la solución y de la superficie de la pared o se introduce materia en forma de partículas. La elasticidad guarda relación con el cambio de tensión superficial que ocurre en respuesta a la deformación de la pared de espuma. Se calcula el grado de elasticidad a partir de:

$$E = 2A \frac{d\gamma}{dA}$$

Ecuación 1.3

Donde:

E, A y γ son respectivamente elasticidad, superficie y tensión superficial. Para que una espuma sea estable, la tensión superficial debe cambiar rápidamente para unirse a cualquier fuerza que deforme las laminillas (Owen, 1985).

Se ha comprobado que los alcoholes, la glicerina y los éteres de la glicerina son especialmente eficaces para incrementar la viscosidad de la superficie y la estabilidad de la espuma (Owen, 1985).

Se puede reducir la velocidad de desecación de una espuma incrementando la viscosidad del líquido de la laminilla y en la capa superficial. Las gomas y proteínas (como gelatina) son excelentes estabilizadores que a bajas concentraciones aumentan fuertemente la viscosidad de una solución. Algunas veces se incorporan azúcares a las espumas para incrementar la viscosidad y también para que actúen de edulcorantes (Owen, 1985).

1.2.5 FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN Y ESTABILIDAD DE UNA ESPUMA

El pH. Diversos estudios han mostrado que las proteínas que estabilizan espumas son más estables en el pH isoelectrico de la proteína. La clara de huevo presenta buenas propiedades espumantes en un pH de 8-9 y su punto isoelectrico es en el pH de 4-5. En el pH isoelectrico de la mayoría son cerca

de éste, la reducida presencia de interacciones de repulsión promueve interacciones favorables proteína-proteína y la formación de una película viscosa en la interface (Badui,; 2006).

Sales. El efecto de las sales sobre las propiedades espumantes de las proteínas depende del tipo de sal y las características de solubilidad de la proteína en esa solución salina. La capacidad de espumado y la desestabilidad de la espuma de la mayoría de las proteínas globulares, como albúmina sérica bovina, albúmina de huevo, gluten y proteína globulares, aumentan conforme se incrementa la concentración de NaCl. Se atribuye generalmente a la neutralización de las cargas por los iones salinos. (Badui, 2006)

Azúcares. La adición de sacarosa, lactosa y soluciones azucaradas pueden perjudicar las capacidades espumante, pero mejorar la estabilidad de la espuma, pues incrementa la viscosidad de la fase “bulk” y se reduce la velocidad de drenado del fluido de la lamela.

Lípidos. Los lípidos, especialmente los fosfolípidos, cuando se presentan en una concentración mayor al 0.5% afectan desfavorablemente las propiedades espumantes de las proteínas, se adsorben en la interface aire-agua compitiendo con las proteínas e inhiben su adsorción durante la formación de la espuma (Badui, 2006).

Concentración de proteína. Una mayor concentración de proteína da firmeza a la espuma. Esta firmeza se logra con un tamaño menor de burbuja y una mayor viscosidad.

Temperatura. Una desnaturalización parcial de las proteínas puede favorecer las propiedades espumantes hasta cierto punto, ya que si se sobrecalientan pueden ocurrir reacciones perjudiciales proteína-proteína vía intercambio de disulfuro, o su reversión a sulfhidrilos (Badui, 2006)

1.2.6 AGENTES ESTABILIZANTES, ESPESANTES O GELIFICANTES

Los principales agentes estabilizantes son los siguientes coloidales hidrófilos: almidones naturales y modificados, celulosas modificadas, pectinas, gelatinas y gomas.

Estos agentes se utilizan especialmente para aumentar la viscosidad en soluciones, suspensiones y emulsiones, así como de espumas, cuya fase dispersante sea acuosa; actúan como espesantes. El aumento de la viscosidad puede conferir una textura particular, estabilizar la fase dispersa o reducir la formación de cristales de azúcar o de hielo al retardar la difusión de moléculas. Los coloides hidrófilos también favorecen la retención de agua y a veces tienen una función de ligazón entre

varios ingredientes; se clasifican como emulsiones secundarias, porque se utilizan frecuentemente con emulsionantes tenso-activos (Cheftel, 1989).

El efecto sobre la viscosidad se debe a que las largas moléculas lineales, que están en expansión a causa de las numerosas cargas electrostáticas del mismo signo, asumen un volumen aparente máximo. Las moléculas ricas en grupos hidroxilo pero sin grupos ionizados, son menos sensibles a la acción del pH, a la concentración en electrolitos y a la temperatura. Las moléculas hidrocoloidales con estructura ramificada, dan soluciones menos viscosas, pero más estables: el peligro de formación de precipitados, granos, con sinéresis de geles, es menor, porque las reacciones entre moléculas y las cristalización se inhiben estéricamente (Cheftel, 1989).

Además de las anteriores, los principales espesantes y gelificantes son las gomas.

Gomas de exudados de árboles: Estas gomas se utilizan cada día menos, porque provienen de países lejanos y pueden reemplazarse por otros tipos de gomas o almidones, celulosas o pectinas.

- a) Goma arábica de acacia (*Acacia sp*). Es un coloide de estructura ramificada, es muy sensible al agua. La viscosidad varía con el pH y el contenido en electrolitos. Se utilizan para estabilizar algunos helados y sobre todo como fijador de aromas.
- b) Goma tragacanto (*Astragalusgummifer*). Es una sustancia de estructura compleja. Esta goma da pastas de viscosidad elevada; se utilizan para salsas tipo mayonesa, helado, postres, etc. La viscosidad se mantiene bien en medio ácido.
- c) Goma karaya (*Stercularens*), constituida por ácidos urónicos parcialmente acetilados, ramnosa, galactosa y otras osas; Poco soluble, esta goma da a los helados y carne triturada una textura suave (Cheftel J; 1989).

Gomas de algas

- a) Alginatos, obtenidos por extracción de algas pardas gigantes mediante una solución de carbonato de sodio. Los alginatos se emplean como agentes espesantes, para la estabilización de espumas y para dar “cuerpo” a bebidas de frutas; su acción gelificante se aprovecha en la preparación de flanes y postres, y sobre todo para la estabilización de helados.
- b) Agar agar, extracto de algas rojas, (*Gelidiumsp.*), obtenido por medio de agua hirviendo. Este compuesto absorbe mucha agua y ya da un gel a concentraciones bajas. El agar se utiliza, a veces, para reemplazar la pectina, en las jaleas de frutas o legumbres así como la gelatina en algunas

preparaciones de carne y pescado. También se emplea en la preparación de medios sólidos para el cultivo de microorganismos.

c) Carragenatos. Extraídos de algas del género *Chondrus* y *Gigartina*. Su elevada proporción de grupos sulfato, hace que este polímero anionico reaccione con las proteínas portadoras de cargas eléctricamente positivas y por consiguiente aumenta la viscosidad de las soluciones proteicas. Se utilizan principalmente en los postres de leche y bebidas de chocolate con leche, en presencia de iones de potasio. (Cheftel J; 1989)

Gomas de granos vegetales

a) Goma de semilla de algarrobo (*Ceratonia siliqua*). Es un galactomanano con ramificaciones laterales. La estructura relativamente lineal de esta coloide hace que dé soluciones de fuerte viscosidad, aún a baja concentración. La viscosidad es muy estable. La ausencia de grupos ionizados, explica la débil sensibilidad de sus soluciones a modificaciones de pH. Esta goma se hidrata bien en frio; se utiliza en salsas tipo mayonesas y en helados.

b) Goma de guar (*Cyamopsis tetragonolobus*). Esta goma es muy parecida a la semilla de algarrobo, tanto por su composición solo diferente a la relación galactosa/manosa como por sus aplicaciones. La ventaja de esta goma es que se prepara a partir de granos de una leguminosa (Cheftel J; 1989).

1.3 PROTEÍNAS

Las proteínas están compuestas por cadenas de aminoácidos unidos unos a otros por enlaces peptídicos. Se ha encontrado que veinte aminoácidos constituyen la mayor parte de las proteínas presentes en la naturaleza, aunque no todas las proteínas contienen veinte aminoácidos como se puede observar en la Fig. 1.8 muestra la composición principal de un aminoácido. (Muller y Tobin, 1986).

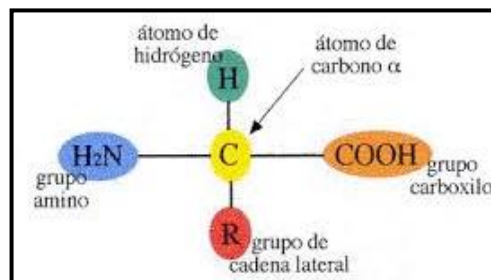


Figura 1.8 Composición de un aminoácido

Algunos aminoácidos se presentan principalmente en proteínas específicas y con frecuencia en cantidades muy grandes. Los aminoácidos son moléculas compuestas por 50-55% de carbono, 20-23% de oxígeno, 15-17% de nitrógeno, 6-8% de hidrógeno y en ciertos aminoácidos hasta 4% de azufre (Muller y Tobin; 1986).

Casi todos los aminoácidos poseen al menos un grupo amino y un grupo carboxilo. El enlace peptídico se forma por una reacción de condensación entre un grupo amino de una aminoácido y un grupo carboxilo de otro aminoácido. Los diferentes aminoácidos poseen diferentes grupos laterales (el designado grupo R) por lo que se unen a través de un átomo de carbono a los grupos amino y carboxilo (Muller y Tobin, 1986).

Empíricamente las propiedades funcionales de las proteínas son una manifestación de dos aspectos moleculares de las proteínas: a) las propiedades hidrodinámicas, y b) propiedades de la proteína relacionadas con su superficie. Las propiedades funcionales como la viscosidad, gelación y texturización se relacionan con las primeras, que dependen del tamaño, forma y flexibilidad molecular. Las propiedades funcionales, como la humectabilidad, dispersabilidad, solubilidad, espumado, emulsificación y unión a sabores se relacionan con las propiedades de superficie de la proteína (Badui, 2006).

Propiedades de hidratación. Dependen de las interacciones proteína-agua y son: absorción de agua, capacidad de mojado (humectación), capacidad de hinchamiento, adhesividad, dispersabilidad, solubilidad y la viscosidad; Propiedades relacionadas con interacciones proteína-proteína. Se trata de las propiedades de precipitación, gelación, formación de estructuras, de fibras, de películas, la adhesión y la cohesión; Propiedades de superficie. Dependen en forma importante de la composición superficial de la proteína (Muller y Tobin; 1986).

A pesar de su alto peso molecular y sus estructuras complejas secundarias y terciarias, las proteínas son capaces de difundirse a partir de la fase acuosa y se adsorben en la interface aire-agua durante la formación de espuma debido a la compatibilidad de sus regiones hidrofóbicas con el carácter hidrófobo de la fase de gas. En la interface aire-agua, las moléculas de proteína son adsorbidas por lo tanto se pueden desplegar a un cierto grado y se someten a una desnaturalización parcial, con grupos polares y grupos no polares, expuestos en agua y en la fase de aire, respectivamente. Las proteínas también disminuyen la tensión interfacial, pero menos que los tenso activos de bajo peso molecular. Sin embargo, pueden contribuir a la formación de películas más estables interfaciales que

pueden ser altamente cohesivos, las proteínas en la interface puede interactuara través de enlaces de hidrógeno, interacciones hidrófobas e incluso enlaces covalentes (Vial y col.2011).

Las proteínas aumentan sólo moderadamente la presión superficial, pero son capaces de formar membranas cohesivas y viscoelásticas en la interface aire/agua que evita la coalescencia de burbujas (Saint y col., 2005).

Las proteínas desempeñan por tanto un papel fundamental, tanto en la burbuja, ruptura y estabilización, que es una fuerte función de sus propiedades interfaciales, sin embargo, estas dependen ampliamente en los tratamientos térmicos que se han aplicado a la receta antes de la aireación. Debido a un tratamiento térmico, b-lactoglobulina nativa, la proteína principal en el suero de proteínas (WPI), se disocia de un dímero a un monómero, exponiendo su grupo tiol en residuos interiores hidrofóbicos, y permitiendo tiol / disulfuro reacciones de intercambio, por lo tanto, las proteínas desnaturalizadas puede polimerizar y formar agregados de proteína (Kazmierski y Correding, 2003).

Las propiedades resultantes interfaciales y la formación de espuma por lo tanto será una compleja combinación de las propiedades respectivas de los agregados, las proteínas desnaturalizadas nativos que no polimerizada proteínas contribuyen a la formación de espuma a medida que se difunden más rápidamente a las interfaces, mientras que los agregados en espuma actúan como estabilización, ya que pueden inducir la formación subsiguiente de una red viscoelástica en la interfaz e incluso en películas delgadas. Según Rullier, Novales y Axelos (2008) y Nicorescu et al. (2008b), Nicorescu et al. (2009a), Nicorescu et al. (2009b), los agregados de proteínas solubles de menor tamaño de 200 nm son principalmente responsables de la mejora de las propiedades espumantes de las proteínas del suero. Por el contrario, los agregados insolubles WPI pueden afectar estas propiedades (Nicorescu et al., 2008b, Nicorescu et al., 2009a).

1.3.1 PROPIEDADES INTERFACIALES DE LAS PROTEÍNAS

Varios alimentos son productos tipo espuma o tipo emulsiones. Estos sistemas dispersos son inestables a menos que estén presentes moléculas anfifílicas en la interface como se puede observar en la Fig. 1.9. Pueden llevar a cabo la estabilización al migrar espontáneamente a la interface aire-agua o a la interface agua-aceite puesto que la energía libre es menor en la interface que en la zona acuosa. Las proteínas en la interface forman películas altamente viscosas por que se concentran en esta zona y confieren resistencia a la coalescencia de las partículas (Muller y Tobin, 1986).

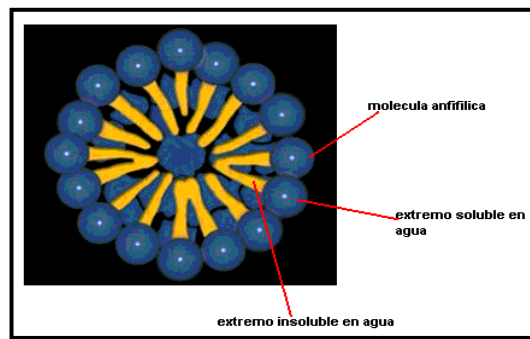


Figura 1.9 Sustancia anfifílicas

Las propiedades de actividad superficial de las proteínas no dependen sólo de la relación hidrofobicidad/hidrofilicidad, sino de la conformación de la proteína.

Las proteínas presentan en su superficie activa tres atributos deseables: a) capacidad para adsorberse rápidamente en una interface, b) capacidad para desplegarse rápidamente y reorientarse en una interface y c) capacidad aún en la interface para interactuar con moléculas vecinas y formar películas viscoelásticas (Muller y Tobin; 1986).

En una interface, las cadenas polipeptídicas asumen una o más de las tres diferentes configuraciones siguientes: lineal, lazos, y colas. Las líneas están en contacto directo con la interface, en tanto colas y lazos están suspendidos u orientados hacia la fase acuosa.

Las proteínas son los principales agentes con actividad superficial que ayudan en la formación y estabilización de la fase gaseosa dispersa. La capacidad espumante de una proteína se refiere a la cantidad de área interfacial que puede ser creada por la proteína, puede expresarse como sobrerrendimiento o poder de espumado en la Tabla 1.2 se presentan ejemplos del poder espumante de diferentes proteínas (Muller y Tobin, 1986).

$$\text{Sobrerrendimiento} = \frac{\text{Volumen de espuma} - \text{Volumen del líquido inicial}}{\text{Volumen del líquido inicial}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Poder espumante (FP)

$$FP = \frac{\text{Volumen del gas incorporado}}{\text{Volumen del líquido}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1.5}$$

El poder espumante aumenta con la concentración de proteína.

Tabla 1.2 Tabla comparativa de diferentes proteínas con sus diferentes poderes espumantes

Tipo de Proteína	Poder espumante a una concentración de proteína al 0.5% (w/v)
Albúmina Sérica Bovina	280%
Aislado proteínico de Suero	600%
Albúmina de huevo	240%
Ovoalbúmina	40%
Plasma bovino	260%
Beta- Lactoglobulina	480%
Fibrinógeno	360%

(Fuente: Nutrición y ciencia de los alimentos (Muller y Tobin 1986))

1.4 HUEVO

Las principales estructuras del huevo son, del interior al exterior: yema, albúmina o clara y el cascarón como se describe en la Fig. 1.10.

Yema: Es la porción amarilla del huevo, está recubierta por una membrana vítelina que la separa de la clara y la protege de una posible rotura. Representa un tercio del peso del huevo sin el cascarón. El color está determinado principalmente por la dieta de gallina. Puede presentar una mancha rojiza, que corresponde al disco germinativo, a partir del cual se desarrollará al pollo. Los principales componentes químicos de la yema son proteínas (lipovitelinas, fosfovítina), grasas, los ácidos grasos encontrados en mayores concentraciones son: el oleico, palmítico, esteárico y linoleico, vitaminas y minerales (Muñoz, 2010).

Albúmina o clara: Es una solución viscosa (coloidal), que rodea a la yema y se encuentra contenida entre las membranas del cascarón. Se distinguen tres capas diferenciales por su consistencia: dos densas y una acuosa. La clara densa va perdiendo su consistencia al transcurrir el tiempo después de haber sido puesto en huevo, por tanto va perdiendo también su capacidad de mantener la yema en la posición central normal. Con el paso del tiempo la clara densa se transforma en fluida y el pH se incrementa de 7.6 a 9.3. (Muñoz, 2010)

Representa el 60% del peso del huevo. Básicamente se trata de una solución de proteínas globulares que contienen fibras de ovomucina. Son ricas en aminoácidos esenciales, Las glucoproteínas: ovoalbúmina, conalbúmina y ovomucoide, suman más del 80% del total de proteínas en la clara de huevo. Otras proteínas de importancia son las lisozima, ovomucina, avidina (Muñoz, 2010).

Cascarón: Es el principal barrera de defensa que posee el huevo. Está revestido con una película protectora natural que impide a los microorganismos penetrar. La cáscara es porosa (7000 a 17000 poros), no es impermeable y, actúa como un revestimiento. El color (blanco o marrón) depende de la raza de la gallina y no influye en el valor nutritivo, en el sabor, en el grosor del cascarón, en las características culinarias, ni en la calidad misma del huevo (Muñoz, 2010). Además de las anteriores componentes del huevo también podemos encontrar otros componentes como se describen en la Tabla 1.3 que muestra una composición en porcentaje de contenido global del huevo.

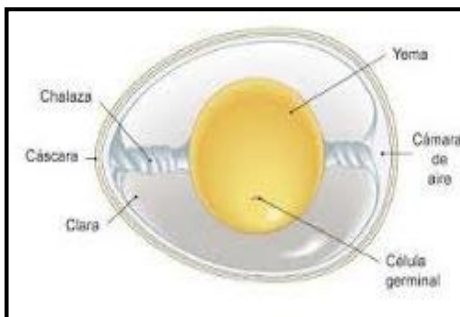


Figura 1.10 Estructura del huevo

Tablas 1.3 Composición global del huevo

Componente	Huevo entero (%)	Yema (%)	Clara (%)
Agua	74.0	50.0	87.8
Proteínas	12.9	16.0	10.9
Hidratos de carbono	0.4	0.6	0.2
Lípidos	11.5	30.6	0.2
Cenizas	0.7	2.0	0.3

(Fuente: elaboración propia)

1.4.1 PROTEÍNAS DEL HUEVO

El huevo está constituido por 10.5% de cascara en tanto la parte comestible está formada por 58.5% de albumen o clara y el 31% de yema, cuyos componentes son proteínas y lípidos que les confieren un alto valor nutritivo.

La clara de huevo se clasifica como ingrediente de usos múltiples. Combina altas cualidades nutricionales, con excelentes propiedades funcionales. Por lo tanto, las proteínas de clara de huevo juegan un papel como tensoactivo natural dándole muchas aplicaciones en la industria alimentaria.

La EWP puede ser comercializada bajo varias formas, incluyendo soluciones líquidas, pero la más frecuente es en estado pulverulento obtenido mediante secado por pulverización. La pasteurización de la EWP sigue siendo un paso esencial en el proceso industrial a causa de efectos microbiológicos de seguridad alimentaria. Por esta razón, la clara de huevo líquido se calienta a 58°C durante unos minutos, mientras que en polvo envasado se almacena generalmente en 55-80°C durante unos pocos días. Cada etapa del proceso industrial de la clara de huevo fresco puede influir en la calidad de la solución EWP. En particular, la pasteurización es un punto crítico del proceso, en cuanto a las propiedades funcionales pueden ser dañados (Loisel y col, 2009).

La composición detallada de la clara de huevo aún no está del todo definida. Se han encontrado numerosas proteínas pequeñas ácidas, no reportadas previamente, como la proteína Ch21. Se trata de una estructura bien organizada, gelatinosa y espesa compuestas al menos por 13 proteínas glicosiladas, algunas de las cuales con actividades biológicas. Enzimas, como lisozima, glicosidasa, catalasa, peptidasa, y esterasa; inhibidores, como el ovonihibidor, la avidina, y el inhibidor de papaína y ficina; o algunos anticuerpos que protegen el desarrollo del embrión al prevenir ataque microbiano (Badui S; 2006).

La ovoalbúmina es la proteína más abundante y está tanto glicosilada como fosforilada en sus residuos de serina, Estas modificaciones permiten separarlas en tres fracciones; así mismo la presencia de cuatro grupos sulfhídricos la hace muy reactiva y fácilmente desnaturizable (Badui, 2006).

La conalbúmina, también llamada ovotransferrina es la segunda proteína en orden de importancia. Contiene manosa y glucosamina, numerosos enlaces disulfuro y presenta la característica de ligar o quelatar el hierro y otros iones metálicos.

El ovomucoide tiene un elevado porcentaje de carbohidratos (hexosaminas 14%, hexosas 7% y ácido siálico 0.7%) que representa hasta el 25% de la proteína; contiene ocho enlaces disulfato por molécula.

La ovomucina presenta aproximadamente 30% de carbohidratos similares al ovomucoide, y junto con la lisozama le confieren al albumen las características espesas y gelatinosas. Es responsable en gran medida de las propiedades fundamentales de la clara, como la capacidad de espumado, y se considera que tiene una actividad biológica contra varios virus (Badui, 2006).

La lisozima es una glicoproteína de 129 aminoácidos con actividad enzimática de N-acetilmuramida-glucana-hidrolasa, también conocida como muramidasa. Es una de las pocas proteínas con un punto isoeléctrico alcalino debido a su elevado contenido de aminoácidos básicos. Además de las anteriores, existen otras proteínas en menor concentración como las globulinas, G2 Y G3, que son glucoproteínas cuya función biológica se desconoce y que tienen las características de ser buenos agentes espumosos (Badui, 2006). En la Tabla 1.4 se observa las propiedades tecnofuncionales en las proteínas en la clara de huevo utilizadas en la industria alimenticia.

Tabla 1.4 Propiedades tecnofuncionales de las proteínas en la clara de huevo.

Proteínas	Propiedades tecnofuncionales	Aplicaciones industriales
Lisozima ovoalbúmina	Capacidad espumante y estabilidad	Merengues, mousses, pastas
Ovomucina, ovomucoide	Poder anticristalizante	Merengues, pasteles, confitería
Ovoalglúmina, conoalbúmina	Poder coagulante y aglutinante	Pasteles, confitería, galletas, pates
Lisozima conoalbúmina	Conservantes	Quesos
Proteínas diversas	Propiedades reológicas	Confitería
Ovomucina	Usos farmacéuticos	Preparación de antibióticos

(Fuente: elaboración propia)

Las proteínas de la clara de huevo se emplean por sus propiedades funcionales, entre las que destaca la formación de espumas; en este proceso, los polipéptidos se desnaturalizan y forman la interface aire/líquido estable propia de este estado de dispersión. La magnitud y tipo de cambios conformacionales varían de acuerdo a la proteína: se modifican las proporciones de hélices en la ovoalbúmina, se altera de manera importante la hidrofobicidad de la ovotransferrina, en tanto que la lisozima casi no se modifica.

La ovoalbúmina es la responsable de la cantidad de espuma producida, mientras que la ovomucina actúa como agente estabilizador de la misma; ambas fracciones pierden estas características cuando se contaminan con los lípidos de la yema. Los daños térmicos a las proteínas ocasionaba una reducción del espumado, sobre todo si se calienta a temperaturas superiores a 60°C, pero la adición de ciertas sales y sacarosa ejerce un efecto protector. Cuando se calienta la espuma el aire se expande y si no se ha generado daño a las proteínas, la estructura se mantiene (Badui, 2006).

La clara de huevo (albúmina de huevo) es ampliamente utilizada en la fabricación de algunos postres como un ingrediente espumante. La calidad de estos productos está determinada en gran medida por la propiedad de formación de espuma de la clara de huevo. Cuando la clara de huevo se bate quedan atrapadas burbujas de aire en el albumen líquido. Después de calentar, las burbujas de aire se expanden y las proteínas de clara de huevo coagulan alrededor de ellos, dando permanencia a la estructura de espuma. Si las claras de huevo son poco espumosas, el volumen y la textura del producto final serán inferiores al deseado. Por otro lado, si la clara de huevo son altamente espumosa esta carece de elasticidad y no puede expandir adecuadamente cuando se calientan (Mleko y col, 2009).

1.4.2 FACTORES INFLUYENTES PARA LA FORMACIÓN DE ESPUMAS DE CLARA DE HUEVO

La capacidad de formación de espuma se debe a la presencia de tres proteínas en la clara de huevo: las ovomucinas, las globulinas y las ovoalbúminas (Astiasaran, 2000).

Cuando la clara de huevo se bate primero, las capas de ovomucina se separan de la clara. Estas se enrollan para formar túbulos huecos, con aspecto de fibras. La clara de huevo se bate y forma mejor espuma cuando estas fibras no exceden 300 a 400 micras de longitud. El batido inicial rápido de la clara, que da lugar a una espuma con mayor volumen, se forma debido a que se corta las capas de

ovomucina en una longitud óptima. Las moléculas de ovomucina no solo contribuyen a la viscosidad de la clara de huevo, pero cuando se extienden en una etapa monomolecular en la interface entre las burbujas de aire y las capas delgadas del líquido a su alrededor se desenrollan exponiendo los grupos R reactivo. Las moléculas de dichas proteínas de superficie desnaturalizada, se unen, a través de los grupos R reactivos y en esta forma estabilizan la espuma. El batido excesivo, sin embargo da lugar a una espuma no elástica. La ovomucina es menos concentrada en el escurrimiento de la espuma de la clara de huevo que la clara no batida, junto con la albúmina, y lisozima y las globulinas, se retienen en las espumas que escurre el contenido de lisozima de la clara de huevo que influye en el potencial de formación de espuma; Las claras con más lisozima forman espumas con menos volúmenes cuando los tiempos de batido son los mismos (Astiasaran, 2000).

La coagulación de la proteína cuando se cuece una espuma de huevo, le proporciona permanencia a la espuma. La clara de huevo y particularmente la ovoalbúmina se coagula fácilmente con el calor (Astiasaran, 2000).

La espumabilidad y estabilidad de las espumas es una de las más importantes funcionalidades de la albúmina de huevo por lo que se han encontrado una serie de aplicaciones en los alimentos. Las proteínas de la albúmina de huevo actúan como emulsionantes anfifílicos entre la fase de aire y la fase acuosa para estabilizar la espuma. El uso comercial de productos disponibles de albúmina de huevo para la formación de espuma tiene muchos inconvenientes tales como el rango de pH y la fuerza iónica para un buen rendimiento. La variabilidad en la capacidad de formación de espuma en las albuminas de huevo es otra limitación. Por lo tanto son muy ansiadas las tecnologías que puedan mejorar las propiedades espumantes de la clara de huevo (Mleko y col, 2007).

Se baten las claras de huevo a medida que el aire se incorpora a la clara de huevo, la masa se hace espumosa, aunque permanece transparente y aun puede fluir si el batido se detiene en esta etapa, el líquido escurre desde las grandes celdas de aire y las burbujas coalescen (propiedad de fundirse o unirse). Si el batido continúa se subdividen las grandes celdas de aire que se incorporan en la etapa espumosa y se introduce más aire. A medida que el número de celdas aéreas aumenta la capa del líquido alrededor de cada una se hace más y más delgada. El resultado es que la clara de huevo se espesa a medida que se bate.

Al continuar el batido la espuma se hace más espesa más fina y más blanca. Pronto empieza a formar picos cada vez que se saca el batido como se puede observar en la Fig. 1.11 Las elevaciones se hacen más definidas y permanentes al continuar batiendo (Astiasaran, 2000).

Este endurecimiento gradual de la espuma se atribuye a la desnaturalización de las proteínas en la superficie las claras de huevo se baten hasta diferentes grados de dureza para incorporarlas en diferentes productos.

Una vez que se alcanza la etapa óptima para el producto en partículas la espuma se debe utilizar de inmediato; De otro modo, al no batirla más se endurece.



Figura 1.11 Imagen característica de espuma de clara de huevo

Hasta un cierto punto, el batido continuo produce un aumento de volumen en el huevo. Si la espuma se bate más allá de firme elevación ase que la espuma sea dura, seca, opaca de apariencia coagulada. La proteína superficial desnaturizada en la capa queda insoluble; Y la capa alrededor de las celdas de aire ya no se hace más elásticas.

Una serie de factores influyen sobre la calidad de una espuma de huevo los utensilios que se usan para producir la espuma son importantes. El tazón debe ser lo suficientemente grande para permitir la expansión en volumen.

Se puede obtener una buena espuma batiendo los huevos con una batidora rotatoria o con un batidor de alambre. Entre más fino sea el alambre o más delgada la hoja, más pequeñas son las células y más fina es la espuma cuando el batido sea hace a mano las claras aguadas se baten más rápido y dan lugar a espumas de volumen ligeramente mayor que las claras espesas (Astiasaran, 2000).

Si la clara de huevo es muy viscosa es difícil cortarla lo suficientemente rápido con una batidora manual para obtener el mejor volumen.

Las claras de huevo se baten más fácilmente a la temperatura ambiente 21°C o 70°F que a la temperatura de refrigerador, el volumen de la espuma es mayor y más fina.

La presencia de grasa, incluso en pequeñas cantidades interfiere cuando en la formación de la espuma de las claras de huevo reduce el volumen de la espuma.

La sal se utiliza para dar sabor a la receta que contienen clara de huevo. Por lo general se utiliza ácido, ya sea cremortártaro o jugo de limón para hacer la espuma más estable. Ambos ingredientes retardan la formación de espuma.

Por esta razón las claras se baten hasta la etapa espumosa antes de añadir la sal y el ácido. Además de retardar la formación de la espuma el ácido reduce un poco el volumen de la clara batida (Astiasaran, 2000).

Si se añade azúcar a la clara de huevo al inicial el batido se necesita batir mucho para producir espuma una vez formada la espuma, es estable y muy fina aunque el volumen sea menor. El brillo de la espuma de la clara de huevo a la que se agregó azúcar se debe a que impide la coagulación de las proteínas esto va acompañado de opacidad.

Después de que la azúcar se ha batido hasta lograr una espuma, esta puede permanecer durante cierto tiempo sin coagularse ni perder su elasticidad (Astiasaran, 2000).

La adición de sacarosa disminuye el volumen de una espuma de proteína de clara de huevo y proteína de suero. El drenaje de la espuma y la vida media son proporcionalmente relacionadas con la viscosidad de la solución y la elasticidad interfacial, independientemente del tipo de proteína, lo que sugiere que la espuma adicionada con sacarosa altera su estabilidad por un efecto general de aumento de la viscosidad en la fase continua y un efecto específico de la proteína en las interfaces. El aumento de sacarosa proporciona estabilidad en las espumas de proteína de suero por aumento de la viscosidad, pero la pérdida de elasticidad interfacial disminuye la estabilidad. La aparición de grandes burbujas sugiere la desestabilización rápida de espumas de proteína de suero durante el calentamiento, lo que no está en armonía con la formación de estructuras asociado con almidón o posiblemente cambios de gluten (Xin Yang, 2009).

1.5 ALOE VERA

La planta de *Aloe vera* es originaria de África, específicamente de la península de Arabia. Su nombre genérico *Aloe* proviene del término árabe *alloeh* que significa sustancia brillante y amarga, se le denomina también con el nombre de sábila; ésta y otras variantes se debe a la deformación del vocablo árabe *Çabila* que significa planta espinosa. Al continente americano fue introducida por

Cristóbal Colón en los tiempos del descubrimiento de América, debido a que éste la utilizaba como medicina para su tripulación. En esos años España ya tenía plantaciones considerables de este vegetal, probablemente dejadas como herencia de la invasión musulmana.

El *Aloe Vera* es una planta de gran interés medicinal utilizada como tal desde hace más de 3000 años. De alrededor de 300 especies de *Aloe*, se ha demostrado científicamente que son cuatro tipos los que presentan mayores propiedades medicinales: *Aloe barbadensis* Miller, *Aloe pernyi* Baker, *Aloe ferox* y *Aloe arborescens*. No obstante, el *Aloe barbadensis* Miller es considerada como la más utilizada en la medicina curativa y la más popular en el mundo entero llamada comúnmente *Aloe vera*. *Aloe vera* (*Barbadensis* miller) es una planta tropical o subtropical se caracteriza por hojas lanceoladas con bordes dentados y puntas afiladas. Hojas de *Aloe* consisten en el margen exterior de color verde coriácea (piel) y una interna de clara matriz gelatinosa (gel) como se muestra en la Fig. 1.12. Desde hace tiempo se utilizado en alimentos para la salud y para fines médicos y cosmético (Chang y col.;2010).



Figura1.12 Planta característica de Aloe Vera

El *Aloe vera* durante siglos fue utilizada por sus propiedades medicinales y terapéuticas sin ningún entendimiento claro o análisis científico de cada una de sus propiedades. En la actualidad, se usa en muchos lugares del mundo en la medicina moderna para tratar múltiples enfermedades, además de ser utilizada en la industria cosmetológica, farmacéutica y alimentaria.

1.5.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

El gel de *Aloe vera* (*Barbadensis* miller) contiene alrededor de 98,5% de agua, es rico en mucílagos representados en la Fig. 1.13. Los mucílagos se caracterizan por estar formados por ácidos galacturónicos, glucorónicos y unidos a azúcares como glucosa, galactosa y arabinosa. También están presentes otros polisacáridos con alto contenido en ácidos urónicos, fructosa y otros azúcares

hidrolizables. Químicamente se caracteriza por la presencia de compuestos fenólicos de gran poder antioxidante, que son generalmente clasificados en dos grupos principales: las cromonas y las antraquinonas (Vega y col, 2005).



Fig. 1.13 Mucilago de Aloe vera

Las cromonas son componentes bioactivos en fuentes naturales, se utilizan como antiinflamatorios y antibióticos. Dentro de ellos podemos encontrar al *Aloe*, también denominada Aloeresin B y el Aloeresin A. Las antraquinonas son compuestos aromáticos polihidroxilados, que constituyen el numeroso grupo de sustancias polifenólicas que conforman la base y la fuente de una importante cantidad de colorantes. Las antraquinonas pueden encontrarse en la corteza y la raíz de diversos géneros y especies de las familias: Leguminosas, Rubiáceas, Liliáceas. Dentro de las antraquinonas se encuentran la Aloína llamada también Barbaloína; la Isobarbaloína y la Aloemodina (Vega y col, 2005).

Varios polisacáridos han sido detectados y aislados desde la pulpa del *Aloe vera*, incluyendo manosa, galactosa, arabinosa, sustancias pécticas y ácido glucurónico. Estudios han identificado a la manosa como el azúcar más importante presente en el gel de *Aloe vera*, mientras que otros estudios han reportado la ausencia de este azúcar, encontrando a su vez a las sustancias pécticas como el mayor componente. Las pectinas forman un grupo complejo de polisacáridos, que están constituidas de ácido galacturónico. Las discrepancias señaladas se deben principalmente a los diferentes lugares geográficos en donde se desarrolla la planta de *Aloe vera* (Vega y col., 2005).

Otros polisacáridos presentes en el gel de *Aloe vera* son: glucomanano y acemanano. El primero es un polisacárido, del tipo heteropolisacárido, el cual presenta una estructura química compuesta por D-manosa y D-glucosa al igual que el acemanano.

1.5.2 PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS

Muchas de las actividades biológicas, incluyendo antiviral, antibacterial, han sido atribuidas al *Aloe Vera* (*Barbadensis miller*), en particular a los polisacáridos presentes en él. Las antraquinonas como la Aloemodina en general actúan sobre los virus, lo que trae como resultado la prevención de la adsorción del virus y consecuentemente impedir su replicación.

El acemanano es una sustancia producida por nuestro organismo hasta antes de la pubertad, posterior a esta etapa del crecimiento, solo es absorbida a través de los alimentos. Su presencia aumenta la resistencia inmunológica de nuestro organismo contra parásitos, virus y bacterias causantes de enfermedades (Vega y col, 2005).

1.5.3 PROPIEDADES NUTRICIONALES Y FUNCIONALES DEL ALOE VERA (*Barbadensis Miller*)

El *Aloe vera* contiene algunas vitaminas hidrosolubles como: tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3), ácido fólico y ácido ascórbico (C); y entre las liposolubles las vitaminas A y E. Algunas investigaciones sugieren que también presenta trazas de vitamina B12, la cual es normalmente extraída de fuente animal.

En cuanto a la presencia de minerales en *Aloe vera*, han sido identificados: calcio, fósforo, potasio, hierro, sodio, magnesio, manganeso, cobre, cromo, zinc.

El *Aloe vera* contiene alrededor de 17 aminoácidos, los cuales fueron detectados cuando el extracto de *Aloe vera* a estudiar se encontraba en estado fresco, donde el aminoácido principal es Arginina representando un 20% del total de los aminoácidos (Vega y col, 2005).

El glucomanano es una fibra muy soluble, que posee una excepcional capacidad de captar agua, formando soluciones muy viscosas en la Fig. 1.14 se puede observar la composición química del glucomanano. Posee un alto peso molecular y una viscosidad más elevada que cualquiera fibra conocida. Se ha demostrado que es eficaz para combatir la obesidad, por la sensación de saciedad que produce; en el estreñimiento debido a que aumenta el volumen fecal; asimismo disminuye los niveles de glucosa e insulina, probablemente debido a que retrasa el vaciado gástrico y, por lo tanto, dificulta el acceso de la glucosa a la mucosa intestinal (Vega y col, 2005).

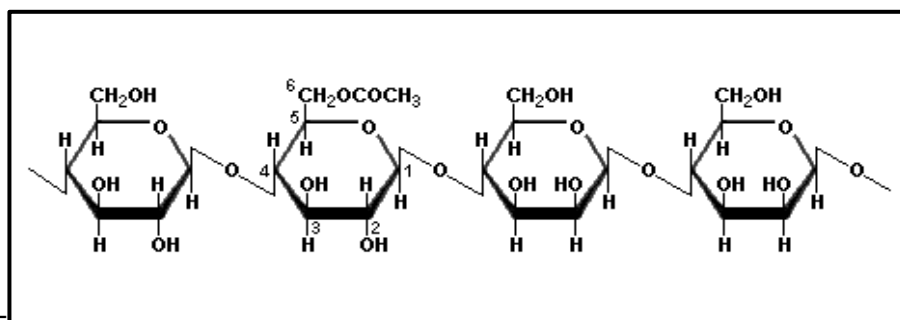


Figura 1.14 Estructura química del glucomanano

1.6 MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN

La deshidratación se define como aquella operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor parte del agua de los alimentos por evaporación o por sublimación. El objeto principal de la deshidratación consiste en prolongar la vida útil de los alimentos por reducción de su actividad de agua. La deshidratación también reduce su peso y volumen, lo que reduce los gastos de transporte y almacenamiento. La deshidratación también altera en cierto grado, tanto las características organolépticas, como el valor nutritivo de los alimentos como se puede observar en la Fig. 1.15.

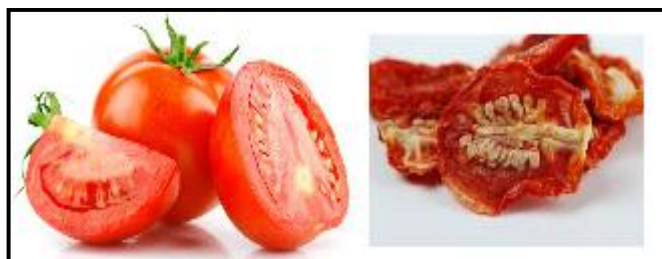


Figura 1.15 Efectos visibles de la deshidratación

Existen diferentes métodos de deshidratación ya sea por aire caliente y por contacto con superficies calientes, La deshidratación por microondas, dieléctrica, radiación y liofilización por sublimación (Fellows, 1994).

El calor empleado para la deshidratación de los alimentos o para la concentración de líquidos por ebullición para eliminar el agua en el alimento. Pero el calor altera las características organolépticas y provoca pérdidas de valor nutritivo. En la liofilización y la concentración por congelación el alimento también se conserva por reducción de su actividad de agua pero en estos métodos estos no se calientan, con lo que sus características organolépticas y su valor nutritivo resultan menos afectados.

Sin embargo estos métodos son más lentos que la evaporación. El costo de la refrigeración es elevado y en la liofilización, el vacío tiene un gasto adicional.

1.6.1 LIOFILIZACIÓN

La liofilización como proceso industrial se desarrolló en los años 50 del siglo XX pero se trata de una operación ya empleada por los Incas. El procedimiento ancestral consistía en dejar por la noche que los alimentos se congelasen por la acción del frío de los Andes y gracias a los primeros rayos de sol de la mañana y la baja presión atmosférica de las elevadas tierras andinas se producía la sublimación del agua que se había congelado, este proceso es conocido como, liofilización natural (Mayer y col, 2006).

Consiste en la eliminación del agua de un producto por sublimación del agua libre de la fase sólida acompañada de la evaporación de algunas porciones remanentes de agua no congelable. La sublimación ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie del hielo se encuentran por debajo del punto triple del agua como se describe en la Fig. 1.16 (Ayala y col, 2010).

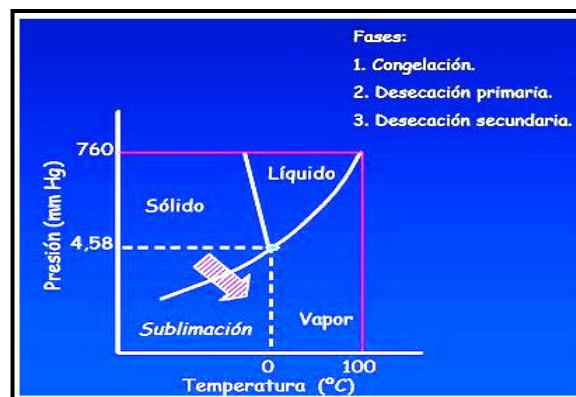


Figura 1.16 Proceso de liofilización

La liofilización es un procedimiento de secado cuyo principio es la sublimación del hielo de un producto congelado. El ciclo se desarrolla en dos fases:

1 Fase de sublimación propiamente dicha, llamada “deshidratación primaria o desecación primaria”, que elimina alrededor del 90 % del agua.

2 Fase de desorción o de “dsecación secundaria”, que elimina el 10 % del agua ligada restante y que permite obtener un producto con una humedad final del 2%. Esta fase es una evaporación al vacío a temperatura de 20 a 60 °C.

Teniendo en cuenta que el punto triple del agua se sitúa a la presión de 610 Pascales, a la temperatura de 0,01°C, la sublimación sólo puede tener lugar a una temperatura inferior a 0 °C y a una presión inferior a 610 Pascal (4,58 mm Hg) (Mayer y col., 2006).

La liofilización se considera uno de los mejores métodos de conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales de productos biológicos. Los productos liofilizados se caracterizan por su baja actividad de agua, bajos cambios de volumen y de forma, alta capacidad de rehidratación, aumento en su porosidad y por presentar un estado vítreo.

La porosidad influye fuertemente en la capacidad de rehidratación de los vegetales deshidratados; a mayor porosidad mayor capacidad de rehidratación.

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DETERMINACIÓN DE MADUREZ DE LA PLANTA *ALOE VERA (Barbadensis miller)*

Para la determinación de la madurez se utilizaron ejemplares de *Aloe Vera* (*Barbadensis miller*), en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, tomando como opción en la experimentación la planta ubicada en la Facultad de Ingeniería Química, ya que cumple con el estado de madurez “adulto”, el cual se verificó mediante la inspección física.

Esta inspección física comprende que la altura de la planta se encuentre entre 70 - 100cm, el tallo alcanza 30 a 40 cm de longitud, desarrollo de 12-16 hojas perennes en forma de roseta, con longitud entre 40-50 cm de largo y 10 cm de ancho en la base, para acabar en una punta afilada, color verde de las hojas (Dolz y col., 2007).

2.2 OBTENCIÓN DE LA PULPA DE *ALOE VERA (Barbadensis miller)*

Una vez localizada la planta se procedió a cortar las hojas. Para la obtención del mucílago se cortaron las hojas más externas y cercanas a la tierra (estas suelen ser las más viejas), una vez cortada la hoja se procedió a desinfectar la superficie con hipoclorito de sodio, buscando evitar contaminaciones del medio que puedan afectar a los mucilagos.

Se eliminaron las espinas de la hoja, utilizando para ello cuchillos debidamente desinfectados, después se llevará a cabo el corte de las fracciones a tamaño homogéneo de 9 cm donde se encuentra la mayor cantidad de sus propiedades curativas, por consiguiente se separa la corteza, quedando en sí el mucílago también llamado: pulpa o gel de *Aloe vera*, finalizando la pulpa se almacenará en recipientes previamente pesados, limpios y estériles, a temperatura ambiente ($20\pm0.5^{\circ}\text{C}$). (Gil, 2010, Opazo y col., 2012).

2.3 OBTENCIÓN DE ESPUMAS *ALOE VERA (Barbadensis miller)* Y ALBÚMINA DE HUEVO

Para la obtención de las espumas de *Aloe vera (Barbadensis Miller)*, se determinó la estabilidad y se probó el efecto del incremento del tiempo de agitación, así como la adición de mejoradores de textura y olor, específicamente goma guar, cápsulas de vainilla y antioxidantes. Se colocó la pulpa de *Aloe vera* en un recipiente y se mezcló.

Para la obtención de albúmina de huevo se utilizaron huevos de gallina dquiridos en un centro comercial, una vez atemperados (20°C) se le hizo un pequeño orificio al cascarón por el cual se extrajo la clara de huevo por acción de la gravedad en un vaso de precipitado.

Después se procedió a pesar el contenido extraído de clara de huevo de cada ejemplar en una balanza analítica (Ohaus sc6010, D.F., México).

Se determinó el volumen obtenido de clara de huevo en una probeta, la prueba se realizó por triplicado, posteriormente se vertió en un recipiente en el cual se introdujo aire con una batidora de cocina (Black & Decker pm200, Guadalajara, México) a una velocidad constante hasta que tomo el aspecto de espuma con características estables, brillante y que no fluya a lo que llamamos en forma coloquial esté a “punto de turrón” en la primera muestra a la que se consideró como muestra control.

Se estudió el efecto de la concentración de la goma en las espumas de *Aloe vera* y albúmina de huevo desarrollando un diseño experimental como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Diseño experimental empleado en la experimentación

Tratamiento	Concentración de la goma expresado en porcentaje (p/p)	Espuma
F1a	0%	Aloe vera
F2a	2%	Aloe vera
F3a	4%	Aloe vera
F4a	6%	Aloe vera
F1	0%	Albúmina de clara de huevo
F2	2%	Albúmina de clara de huevo
F3	4%	Albúmina de clara de huevo

(Fuente: elaboración propia)

2.4 DETERMINACIÓN DE CONDICIONES EN LA LIOFILIZACIÓN DE ESPUMAS DE *ALOE VERA* (*Barbadensis miller*) Y ALBÚMINA DE HUEVO

Posteriormente las espumas obtenidas fueron sometidas a congelación lenta para generar cristales grandes, después de ello las espumas fueron liofilizadas en un liofilizador (Labconco R-1000, New York, E.U.A) Fig. 2.1.



Figura 2.1 Liofilizador Labconco

El modo de operación consistió en colocar el producto sobre las bandejas y tubos dentro de una cámara de refrigeración, donde su temperatura se redujo a -2 o -3°C , de allí se transfirieron a una cámara de congelación donde se enfrió a aproximadamente -40°C . En esta forma se pasó rápidamente a la cámara de liofilización que previamente es enfriada a -15°C y a una presión menor a 0.00610 pascales. El vapor de hielo sublimado se recogió en el condensador de hielo. (Manual de manejo liofilizado Lacónico R-100). El producto liofilizado que se obtuvo fue colocado en desecadores para evitar su hidratación.

2.5 CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA

La estructura de las espumas sólidas de *Aloe vera* (Barbadensis miller) y albúmina de huevo se evaluó por microscopía electrónico de barrido.

El microscopio que se empleó para la caracterización, es un MEB de bajo vacío, Fig.2.2 (JSM-5300, Illinois, E.U.A). El análisis se efectuó a 20KV de voltaje de aceleración y una amplificación de 500X a 1000X.



Figura 2.2 Microscopio MEB de bajo vacío

2.6 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

2.6.1 CARACTERIZACIÓN DE TEXTURA

Se evaluó el esfuerzo máximo de las espumas sólidas en un texturómetro universal TA-XT2 Texture Analyser Fig. 2.3 (Texture Technologies Corp., Scarsdale Micro System, Godalming, Surrey, Inglaterra) en el Análisis del Perfil de Textura (TPA). El método de doble compresión fue usado para registrar la fuerza máxima requerida para quebrar las espumas obtenidas. Las espumas sólidas fueron colocadas verticalmente en la plataforma del metal de 3.3 cm de diámetro. El parámetro obtenido fue dureza.



Figura 2.3 Texturómetro universal TAXT2

2.6.2 CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD

El contenido de humedad se determinó con una Termobalanza de humedad Fig. 2.4 (Ohaus MB45, Oregon, E.U.A) a temperatura de 25 °C, previamente calibrado.

La densidad se determinó una vez obtenida la masa y el volumen de la espumas de *Aloe vera* (*Barbadensis Miller*) y albúmina de huevo (Bustamante y Reyes., 2006).



Figura 2.4 Termobalanza de humedad Ohaus

2.6.3 COLOR

El color fue determinado mediante un colorímetro (ColorgardSystem/05, Monterrey, México), los parámetros evaluados fueron L (luminosidad), a (rojo-verde) y b (azul-amarillo) de la escala de Hunter. Dónde: a = Es el valor rojo-verde en la escala de Hunter, b = Es el valor azul-amarillo en la escala de Hunter y L =Indica la luminosidad de la muestra en la escala de Hunter. La diferencia neta de color ΔE se evaluará mediante la siguiente ecuación (Hunter Lab., 2001).

$$\Delta E = \left(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 2.1

Donde:

a = Es el valor rojo-verde en la escala de Hunter.

b = Es el valor azul-amarillo en la escala de Hunter.

L =Indica la luminosidad de la muestra en la escala de Hunter.

2.6.4 DETERMINACIÓN DE POROSIDAD

Se determinó la estructura física en las diferentes formulaciones estudiadas, incluyendo la clara de huevo fresco blanco sin goma (muestra de control) y los tratamientos restantes. La formación de espuma potencial de las muestras se midió de acuerdo con el procedimiento volumétrico utilizando la fórmula siguiente:

Indicador de espuma:

$$X = M / m$$

Ecuación 2.2

Donde M es la masa del volumen estrictamente determinado de la mezcla antes de la formación de espuma (g), m es la masa del mismo volumen de la mezcla después de la formación de espuma (g).

El factor de expansión de volumen W_o se determinó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$W_o = V_p / V_1 * 100 (\%)$$

Ecuación 2.3

Donde V_p es el volumen de la espuma inmediatamente después de la preparación de espuma (cm³), V_1 denota el volumen de la solución (cm³) utilizado para la formación de espuma.

La porosidad de las espumas frescas se evaluó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon (\%) = (1 - \rho_p / \rho_n) * 100 \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Cuando ρ_p es el espesor de la muestra después de la aireación de burbuja, ρ_n el espesor de la muestra antes de la aireación de burbuja.

Factor de estabilidad de la espuma se determinó de acuerdo con el siguiente procedimiento:

$$T = ((A - V) / A) * 100 (\%) \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde A es el volumen del líquido de la espuma que se hizo (cm^3), mientras que V es el volumen de la fuga de líquido (cm^3) obtenida durante 15 min de almacenamiento de la espuma.

CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 OBTENCIÓN DE MUCILAGOS Y ESPUMAS DE *ALOE VERA* (*Barbadensis miller*) Y ALBÚMINA DE HUEVO

Como se muestra en la Fig. 3.1 se obtuvieron mucilagos con características deseadas de acuerdo a la metodología realizada, observando que el *Aloe vera* (*Barbadensis miller*) seleccionado presentó propiedades de madurez, peso y tamaño de deseado. Se removió la pulpa y posteriormente se procedió a la agitación con diferentes concentraciones de goma para obtener espumas firmes y estables. Para su posterior congelación y formación de cristales. De igual forma se muestra en la Figura 3.2 la obtención de la espuma de a albúmina de huevo mediante un método de agitación.



Figura 3.1 Obtención de espumas de *Aloe vera*



Figurea 3.2 Obtención de espumas de albúmina de huevo

Se puede observar el aumento de volumen debido a la incorporación de aire.

3.1 CARACTERIZACIÓN DE ESPUMAS FRESCAS DE *ALOE VERA* (*Barbadensis miller*) Y ALBÚMINA DE HUEVO

DENSIDAD DE LA ESPUMA

Los efectos de la concentración de goma en la densidad de la espuma tanto de *Aloe vera* como de la albúmina en la clara del huevo se muestran en la Fig. 3.3. Durante el proceso de batido, el aire se introdujo en la albúmina de huevo líquido y fue atrapada en forma de burbujas. La densidad de la espuma disminuyó a medida que el tiempo de agitación aumento, lo que resulta en una densidad mínima después de 3 min de agitación.

En todas las muestras de las formulaciones estudiadas se observó la clara influencia de la goma en la densidad de las espumas frescas tanto de *Aloe vera* como de la albúmina de huevo.

Se observó que la densidad de la espuma aumentó en relación a la muestra que menor concentración de goma presenta, específicamente para las formulaciones F3 y F4.

La densidad inicial de la espuma de la albúmina de clara de huevo fue de 0.93 g cm^{-3} y disminuyó a 0.19, 0.26, 0.32 y 0.35 g cm^{-3} después de 3 minutos de agitación para las muestra de albúmina de huevo F1, F2, F3 Y F4 respectivamente.

Después de 5 min de agitación se presentó un aumento significativo en la densidad cuyos valores fueron 0.27, 0.35, 0.60 y 0.68 g cm^{-3} para la F1, F2, F3 y F4, respectivamente. El valor más bajo de densidad para la formulación F1 se atribuyó al hecho de que el movimiento del agente de formación de espuma de la fase acuosa hacia la interfaz de aire acuosa se limita (Karim y Wai 1999a) y es insuficiente para una reducción en la tensión superficial, lo que mejora la formación de la espuma. Como se muestra en la Figura 3.3, un aumento en la concentración de goma de 0.0 % a 6.0 % condujo a un aumento mayor del 50 % en la densidad de la espuma. Las curvas de densidad de la espuma durante el proceso de batido presentan una tendencia similar a los de otros alimentos espumosos, tales como pasta de tomate (Karim y Wai 1999b).

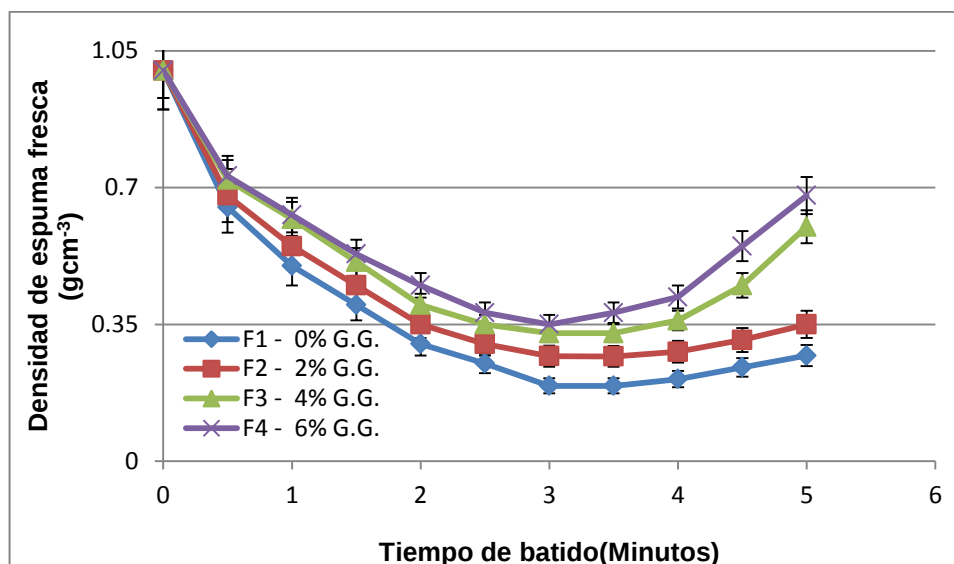


Figura 3.3 Densidad de la espuma albúmina de huevo fresco como una función de la concentración de goma durante el proceso de batido

Los análisis estadísticos reflejan que la concentración de la goma afecta significativamente el valor de la densidad de las espumas frescas según la prueba de ANOVA ($P < 0,05$) con valores de $F = 2.91$.

La densidad de la espuma inicial de *Aloe vera* fue de 0.85 g cm^{-3} y disminuyó a 0.21, 0.28, 0.35 y 0.40 g cm^{-3} después de 10 minutos de agitación para F1a, F2a, F3a y F4a respectivamente.

Se realizaron pruebas de densidad en las espumas de *Aloe vera* después de 12 min de agitación y se observó que no existe un aumento significativo en la densidad cuyos valores fueron similares a los obtenidos a los 10 minutos de agitación. Como se muestra en la Fig.3.4, un aumento en la concentración de goma de 0.0 % a 6.0 % condujo a un aumento mayor en 38% en la densidad de la espuma de *Aloe vera*, en comparación con la de albúmina. Las curvas de densidad de la espuma de *Aloe vera* con mayor concentración de goma en comparación con la formulación a la cual no se adicionó goma. Se observó que durante el proceso de batido no presentaron una tendencia similar al comportamiento de la densidad de alimentos espumosos proteicos, probablemente este efecto se presente debido a que la estabilidad de la espuma de *Aloe vera*, la proporciona los carbohidratos de alto peso molecular (Karim y Wai 1999b).

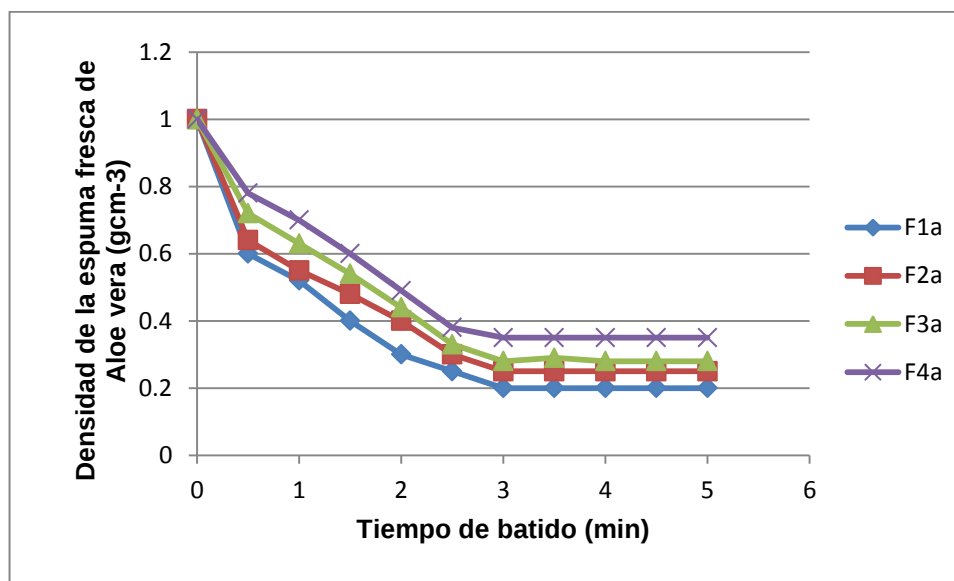


Figura 3.4. Densidad de la espuma de *Aloe vera* como una función de la concentración de goma durante el proceso de batido

CAPACIDAD ESPUMANTE

Los resultados mostraron que la muestra de control de albúmina de la clara de huevo F1 tenía las mejores propiedades de formación de espuma en relación con la F2, F3 y F4 muestras (Tabla 3.1). Las muestras con una concentración de 4 y 6 % de goma de guar en la espuma de la albúmina de huevo mostraron parámetros de formación de espuma mucho más bajos que F2, aunque se obtuvieron los mejores resultados para la albúmina de huevo sin goma F1. Este resultado indica que la adición de goma guar reduce sustancialmente el potencial de formación de espuma de las claras de huevo. Resultados similares se presentaron para las muestras de *Aloe vera*, en la cual un incremento en la concentración de la goma generó una menor capacidad espumante como se muestra en la Tabla 3.2.

La porosidad y la densidad son parámetros importantes de espumas frescas. Estos dos parámetros se correlacionan debido a un aumento en la densidad se acompaña de una disminución de la porosidad.

Para el caso de las espumas de albúmina y goma guar se observó una menor porosidad para las formulaciones con mayor concentración de goma 64.30 % para F3 y F4 y un valor mayor de la densidad (0.35g cm^{-3}) para las muestras en las cuales no se incluyó la goma guar. De igual forma se observó para las muestras de *Aloe vera* en comportamiento similar al presentado para las muestras de albúmina.

Tabla 3.1 Características de las espumas de albúmina durante el proceso de batido

Agente espumante	Espumante potencial			
	Aumento del volumen de espuma Wo (%)	Indicador de espuma X	Factor de Estabilidad T (%)	Porosidad (%)
F1 Albúmina de huevo fresco	162±2.5	1.18±0.03	43.00±2.8	78.22±2.4
F2 Albúmina de huevo fresco con goma guar al 2% (w/w)	136.0±1.6	1.12±0.02	25.60±3.5	70.66±3.6
F3 Albúmina de huevo fresco con la goma guar al 4% (w/w)	118.0±1.8	1.11±0.02	17.80±2.4	65.46±2.8
F4 Albúmina de huevo fresco con la goma guar al 6% (w/w)	112.0±2.2	1.11±0.02	15.70±2.8	64.30±3.5

(Fuente: elaboración propia)

Tabla 3.2 Características de las espumas de *Aloe vera* durante el proceso de batido

Agente espumante	Potencial espumante			
	Aumento del volumen de espuma Wo (%)	Indicador de espuma X	Factor de estabilidad T (%)	Porosidad (%)
F1a Pulpa de <i>Aloe vera</i> con goma guar al 0%	148±3.2	0.98±0.03	40.2±2.8	65.74±2.4
F2a Pulpa de <i>Aloe vera</i> con goma guar al 2% (w/w)	132.0±2.5	0.92±0.02	28.6±3.2	60.24±1.8
F3a Pulpa de <i>Aloe vera</i> con goma guar al 4% (w/w)	109.0±1.1	0.90±0.28	15.47±1.2	58.45±1.4
Pulpa de <i>Aloe vera</i> con goma guar al 6% (w/w)	105.0±1.5	0.87±0.04	13.4±0.12.8	64.30±3.5

(Fuente: Elaboración propia)

CINÉTICAS DE LIOFILIZACIÓN

Las representaciones gráficas de contenido de humedad en función del tiempo de liofilización para las espumas de albúmina y *Aloe vera* bajo las condiciones estudiadas se presentan en las Fig. 3.5 y 3.6 se observó que bajo las condiciones ensayadas la pérdida de humedad es menor cuando se aumenta la concentración de goma guar en la espuma de albúmina, siendo evidente este comportamiento durante las primeras horas del proceso.

De los resultados obtenidos se deduce que las curvas de secado de las espumas de albúmina son dependientes de la concentración de goma, si bien es cierto que estas diferencias disminuyen a medida que avanza el proceso.

El análisis estadístico efectuado a través de la prueba t-Pareada, mostró que existe diferencia significativa entre las curvas de liofilización de los 4 tratamientos, durante las primeras 24 horas, mientras que para tiempos largos de secado ($t > 24$ horas) no se reportó diferencia significativa entre ellas, para un intervalo de confianza del 95%, siendo en esta última etapa cuando las espumas de albúmina liofilizadas presentan un contenido de humedad cercano al de equilibrio.

En la Tabla 3.3 se presentan los valores promedios de la humedad inicial en estado fresco, así como la humedad final de las espumas de albúmina, después del proceso de deshidratación. En este trabajo la humedad final de las espumas ha sido denominada como humedad de equilibrio.

Tabla 3.3. Validación de las espumas de albúmina de huevo.

Parámetro	Valor
Humedad inicial de la espuma F1	0.882 ± 3.4^a
Humedad inicial de la espuma F2	0.86 ± 1.7^a
Humedad inicial de la espuma F3	0.82 ± 1.4^a
Humedad inicial de la espuma F4	0.80 ± 2.1^a
Humedad en el equilibrio de la espuma F1	0.129 ± 0.04^b
Humedad en el equilibrio de la espuma F2	0.123 ± 0.02^b
Humedad en el equilibrio de la espuma F3	0.115 ± 0.03^b
Humedad en el equilibrio de la espuma F4	0.104 ± 0.01^b

(Fuente: elaboración propia)

^a expresado en base húmeda (Kg H₂O/Kg muestra) ^b expresado en base seca (Kg H₂O/Kg s.s)

Como puede observarse en la Tabla 3.3, la humedad en estado fresco de la espuma sin adición de goma fue 0.882 Kg H₂O/Kg muestra, mientras que al final de la deshidratación, el contenido de humedad descendió hasta obtener valores entre 0.129 a 0.104Kg H₂O/Kg s.s. Se observa que la humedad de equilibrio de las espumas de albúmina después del proceso de deshidratación no presentaron diferencias significativas a un nivel de significancia de (P<0.05). En la Tabla 3.4 se presentan los valores promedios de la humedad final de las espumas de Aloe vera después del proceso de liofilización. En este trabajo la humedad final de las espumas fue denominada como humedad de equilibrio.

Tabla 3.4. Validación de humedad de las espumas de Aloe vera

Parámetro	Valor
Humedad inicial de la espuma F1a	0.86±2.5 ^a
Humedad inicial de la espuma F2a	0.84±1.2 ^a
Humedad inicial de la espuma F3a	0.83±1.0 ^a
Humedad inicial de la espuma F4a	0.81±1.2 ^a
Humedad en el equilibrio de la espuma F1a	0.128±0.032 ^b
Humedad en el equilibrio de la espuma F2a	0.120±0.021 ^b
Humedad en el equilibrio de la espuma F3a	0.115±0.045 ^b
Humedad en el equilibrio de la espuma F4a	0.104±0.021 ^b

(Fuente: elaboración propia)

^a expresado en base húmeda (Kg H₂O/Kg muestra). ^b expresado en base seca (Kg H₂O/Kg s.s).

Se observó en la Tabla 3.4 que la humedad inicial de las espumas fue de 0.980 Kg H₂O/Kg muestra, mientras que al final de la liofilización, el contenido de humedad descendió hasta obtener valores entre 0.115Kg H₂O/Kg s.s. Se evaluó que la humedad de equilibrio de las espumas después del proceso de liofilización no presentó diferencias significativas a un nivel de significancia de (P<0.05), en comparación con el contenido de humedad inicial. Este resultado fue similar a los resultados obtenidos durante la liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) donde la relación

de equilibrio fue 12h, con 0.0255 ± 0.0014 kg agua/kg m.s. (Ayala *et al.*, 2010). El ANOVA para los tratamientos al final del proceso de secado (12h) confirmó que no hay diferencias significativas durante el secado por liofilización las espumas de Aloe vera con ($P>0.05$).

Los valores de humedad obtenidos que presentaron las muestras son muy bajos, no favorecieron los fenómenos de agregación y apelmazamiento durante el almacenamiento e inclusión en alimentos procesados industrialmente. La cinética de deshidratación de la espuma durante su liofilización se evaluó en función del tiempo de congelación - secado y concentración de goma. Se observaron dos etapas diferentes en la curva de secado - congelación de cada formulación ensayada. La primera etapa se extendió sobre las primeras 20 h de secado Fig. 3.5, la segunda etapa también duró 20 h, que corresponde a la etapa de equilibrio. Una observación similar fue reportado (Lim *et al.* 1995).

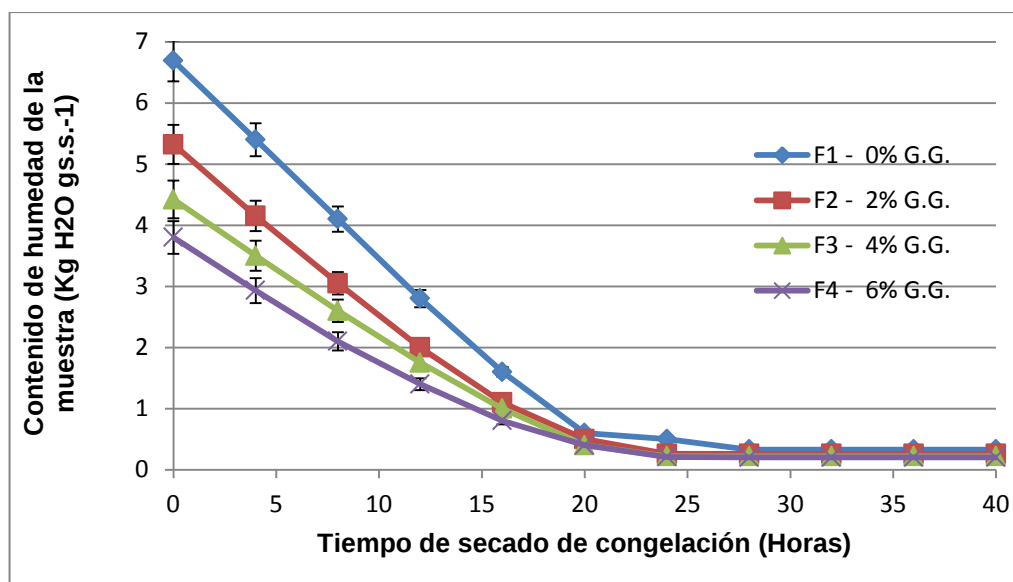


Figura 3.5. Curvas de secado por liofilización de espumas de albúmina con diferentes concentración de goma guar.

El efecto anteriormente comentado que provoca el incremento de la concentración de goma en la pérdida de humedad durante la liofilización ha sido reportado por diferentes autores. De igual forma en las Fig. 3.5 se observa el claro efecto de la adición de goma sobre la curva de liofilización, ya que al aumentar este parámetro, disminuyó el tiempo de secado, para lograr una misma humedad de equilibrio.

Los datos de la cinética de secado presentados en la Fig.3.7 muestran una mayor velocidad en la primera etapa de secado, valores que observaron una tendencia decreciente con el contenido de

humedad de las muestras. De tal forma que la velocidad de secado disminuyó con la disminución del contenido de humedad de la muestra. No obstante se observó el inicio del período de velocidad decreciente (segunda etapa), este correspondió cuando las muestras presentaron un contenido de humedad de 3.0 y 1.0 kg H₂O/kg BS, y que corresponde a la pérdida de agua libre, es decir agua que estaba disponible libre y que se sublimó fácilmente (Hamdami et al. 2004). Durante el periodo de velocidad decreciente disminuyó gradualmente la disminución del contenido de humedad, posiblemente debido a la poca agua libre disponible.

Se observó un proceso de difusión del agua como el principal mecanismo de control de transporte de agua como se muestra en la Tabla 3.5. Estos resultados demuestran la importancia de la concentración de goma en el movimiento de la humedad, dado que la goma se caracteriza por ser un depresor importante de la actividad de agua y con ello liga o ata al agua disponible. La difusión de agua a través de la espuma con menor concentración F1 fue mayor y disminuye cuando la concentración de goma en espuma de la clara de huevo aumentó en F3 y F4.

Con respecto a las cinéticas de liofilización de las espumas de *Aloe vera* fue posible observar una menor pérdida de humedad de las muestras con respecto al tiempo de liofilización y su comparativo con las de albúmina de clara de huevo.

Esto indica que los tiempos de liofilización son ligeramente más largos y es un indicativo de cómo los mananos retienen con mayor intensidad a las moléculas de agua. Se observó de igual forma un proceso de difusión durante la etapa de velocidad decreciente en las cuales el proceso de difusión también se presentó.

De acuerdo a la experimentación durante la liofilización de las espumas de *Aloe Vera* (*Barbadensis miller*) y albúmina de huevo se observó que un factor determinante es el método de congelación al que fueron sometidas las muestras, ya que influye en la formación de cristales grandes y estables.

Otro factor determinante es el tiempo de liofilizado ya que este debe ser continuo y no de forma intermitente dado que las muestras pueden modificar sus propiedades físicas, siendo este tiempo mínimo de 16 hrs para conservar sus condiciones de volumen y textura deseadas.

En la Fig. 3.6, se muestra la pérdida de peso con respecto al tiempo de las espumas de *Aloe vera* (*Barbadensis miller*) liofilizadas bajo las condiciones de estudios. Los datos mostraron que a las 16

horas existió una pérdida aproximadamente del 40 al 50% de agua y en 45 horas hubo una pérdida del 98 al 99% de agua.

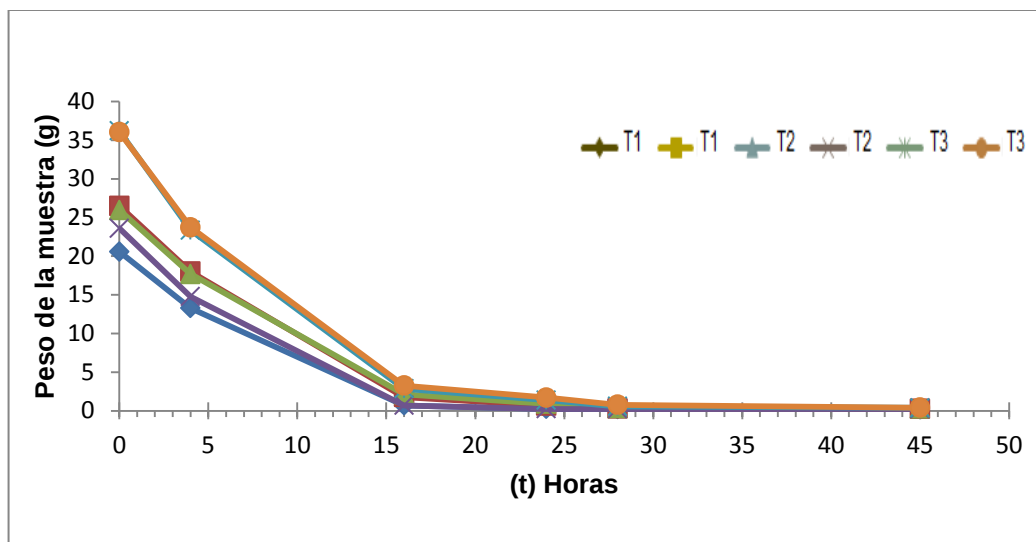


Figura3.6 Perdida de agua en la espuma de *Aloe vera* durante la liofilización.

La velocidad se ha expresado en ($\text{KgH}_2\text{O/Kg s.s.m}^2 \text{ s}$) con lo cual al considerar los cambios del área del producto se elimina este factor como una variable que influya en la eliminación de la humedad.

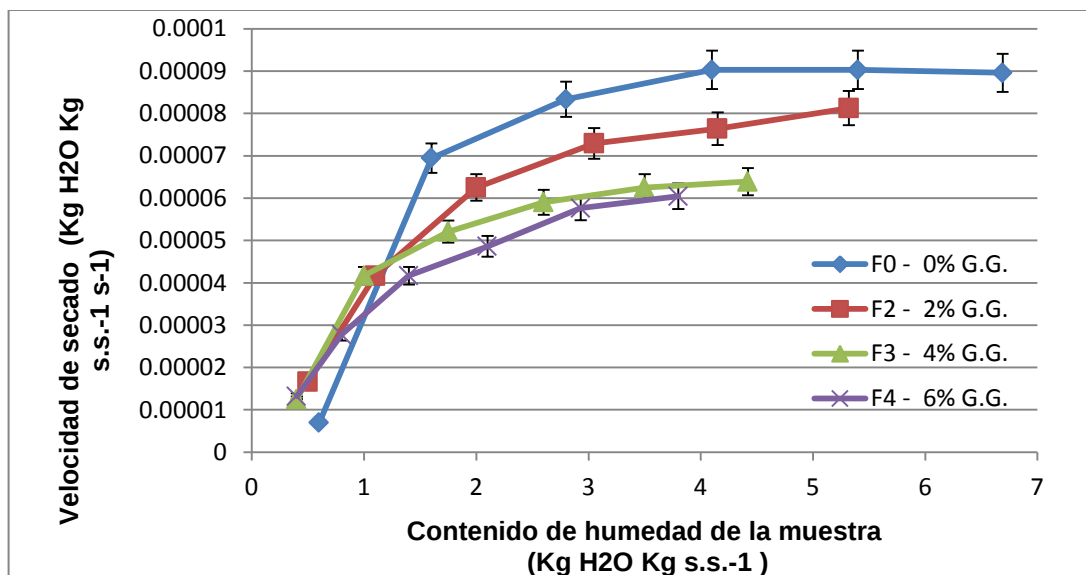


Fig. 3.7 . Cambios de la velocidad de secado con respecto a la humedad de las espumas de albúmina a diferentes concentraciones de goma guar.

Tabla.3.5. Valores de los coeficientes de difusión efectivos de espumas de albúmina y *Aloe vera* durante el secado por liofilización

Temperatura y velocidad del aire de secado (°C-m/s)	Difusividad efectiva del primer periodo de velocidad decreciente $D_{eff} \times 10^{10} \quad (m^2/s)$
F1	5.38±0.08
F2	4.26±0.09
F3	3.16±0.25
F4	2.38±0.33
F1a	4.98±0.12
F2a	3.05±0.19
F3a	2.012±0.16

(Fuente: elaboración propia)

3.3 OBTENCIÓN DE ESPUMAS LIOFILIZADAS DE *ALOE VERA* (*Barbadensis miller*) Y ALBÚMINA DE HUEVO

En la Figura 3.8 y 3.9 se presentan las imágenes de las espumas liofilizadas de *Aloe vera* y de albúmina de clara de huevo respectivamente.

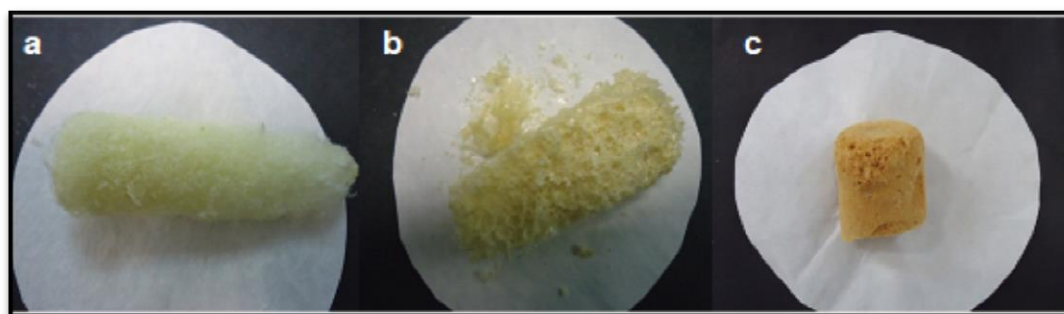


Figura 3.8. Espumas liofilizadas de *Aloe vera* a)0%goma guar b)2%goma guar c)4%goma guar

Las espumas liofilizadas de albúmina de huevo y *Aloe vera* con mayor concentración de goma fueron más estables, obteniendo una mayor estabilidad y calidad del producto después del proceso de liofilización.

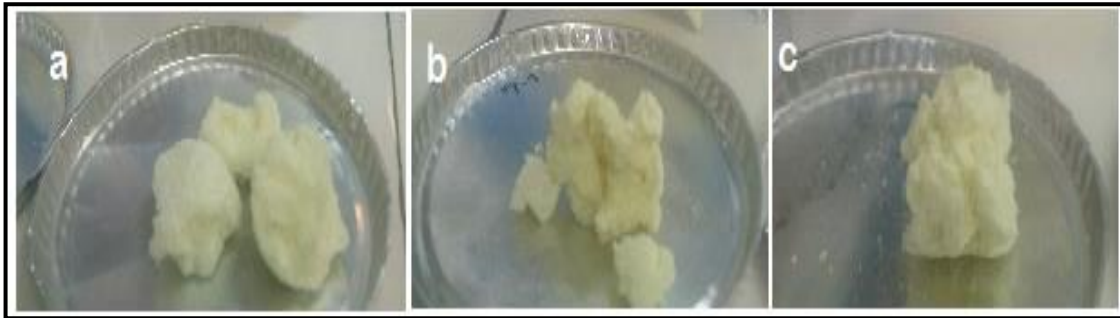


Figura 3.9 Espumas liofilizadas de albúmina de huevo a)0% goma guar b)2% goma guar c)4% goma guar

Al obtener las espumas liofilizadas estas tuvieron un tratamiento de almacenamiento riguroso ya que estas pueden absorber humedad del ambiente y cambiar sus propiedades por lo que estas tienen que ser guardadas en contenedores como lo son desecadores como se puede observar en la Fig. 3.10.

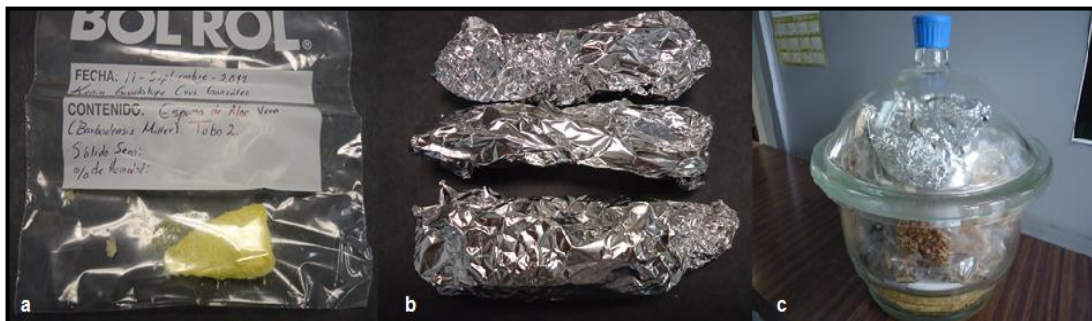


Fig. 3.10. Proceso de almacenado: a) Producto envasado, b) bolsas cubiertas con aluminio para evitar la oxidación de las espumas y c) producto almacenado para evitar su hidratación.

Los resultados de la caracterización fisicoquímica de las ocho diferentes espumas obtenidas permiten identificar que el tiempo de agitación y la inclusión de la goma ha modificado significativamente el comportamiento de las espumas sólidas. El contenido de humedad fue significativamente mayor, al no usar la goma, debido a la naturaleza hidrofílica de esta. De igual forma se vio un incremento significativo de la textura, densidad y viscosidad en las espumas al

adicionar la goma. Con respecto al color final de las espumas sólidas de *Aloe vera* se observó que la adición de la goma permitió un producto de color amarillo intenso, mismo que se vio reflejado en los parámetros L, a y b como se observa en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Caracterización de color de las espumas sólidas obtenidas

Parámetro	F1a	F2a	F3a	F1	F2	F3
	Color					
L	1.83±0.03	10.76±0.07	1.85±0.02	1.33±0.01	1.30±0.02	1.29±0.02
A	-2.49±0.02	-2.85±0.05	-2.58±0.03	-6.21±0.01	-6.58±0.22	-6.75±0.15
B	23.76±0.06	28.54±0.04	30.25±0.05	29.2±0.01	31.21±0.01	32.17±0.025

(Fuente: elaboración propia)

3.4 CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA

La estructura de las espumas sólidas de *Aloe vera* (*Barbadensis miller*) y de albúmina de la clara de huevo se evaluaron por microscopía electrónica de barrido en las Fig. 3.11, 3.12 y 3.13. En las micrografías de espumas de *Aloe vera* sin goma y con goma fue posible observar la estructura porosa de las espumas, en las cuales se observó la presencia de poros de las espumas.

La morfología y la superficie de las espumas fueron evaluadas con imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido. En la Fig.3.11 y 3.12 se observa diferentes micrografías de las espumas, en las cuales se observa que su superficie presenta una forma irregular y una superficie contraída, con pliegues, debido probablemente al proceso de deshidratación al cual fueron sometidas las espumas. Los poros de las espumas presentan una forma altamente irregular en las cuales se ve una tendencia de formas flageladas en las espumas con goma guar Fig.3.12.

La superficie de las espumas de *Aloe vera* y albúmina con las diferentes concentraciones de goma es rugosa, debido probablemente a las propiedades plásticas predominantes en la goma guar sobre las propiedades vítreas, dado que durante el proceso de secado se produjeron contracciones de las espumas durante el proceso de congelación y liofilización, por otro lado la plasticidad de la goma

guar da lugar a pliegues sobre la superficie de las espumas que previene el agrietamiento de la pared

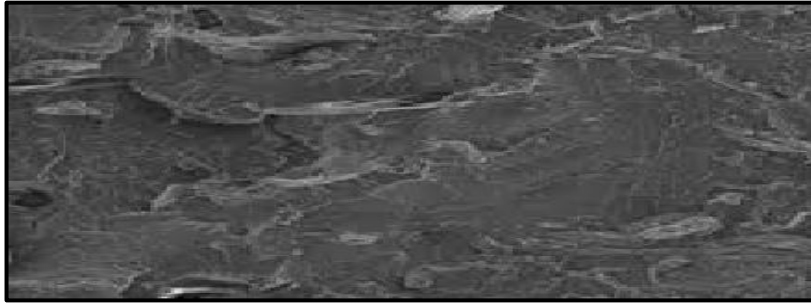


Figura3.11. Micrografía de espuma de *Aloe vera* a 20KV de aceleración y amplificación de 500X a 1000X

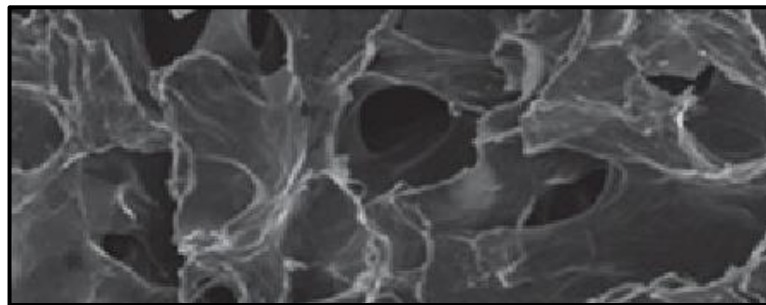


Figura3.12. Micrografía de espuma de *Aloe vera* con goma guar a 20KV de aceleración y amplificación de 500X.

Las fotomicrográficas mostraron que las espumas liofilizadas mostraron una microestructura claramente deteriorada cuya eliminación de los cristales de hielo fue evidente. Las muestras con mayor concentración de goma para las espumas de *Aloe vera* y albúmina presentaron productos más densos con un patrón microestructural más irregular y deformado en comparación con las espumas F1 Y F1a respectivamente de cada proceso.

Las espumas de *Aloe vera* y albúmina sin goma o con concentraciones bajas de goma presentaron una microestructura más irregular como consecuencia de la rápida pérdida de hielo de agua durante la liofilización, lo que resulta en la deformación microestructural de los poros como se observa en la Fig. 3.13. El análisis de comparación múltiple mostró que la concentración de goma en las formulaciones de espuma producido modificaciones microestructurales con diferencias significativas.

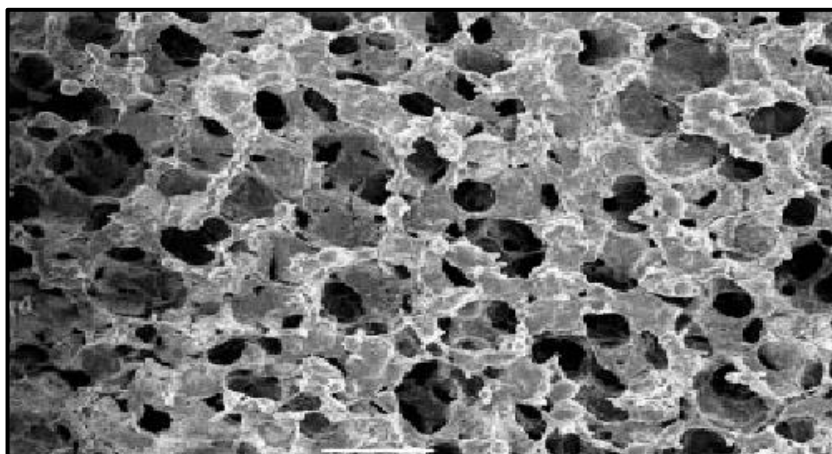


Figura. 3.13 Vista microscópica de poros en espuma liofilizada de albúmina 1000x

3.4. DETERMINACIÓN DE TEXTURA

Los valores de textura fueron significativamente superiores para las espumas de *Aloe vera* y albúmina el sistema con goma guar en comparación con los sistemas a los que no se les adicionaron gomas en la Fig. 3.14. Se determino la dureza de las espumas de albúmina de huevo como se observa durante la prueba en el texturómetro en la Fig. 3.15

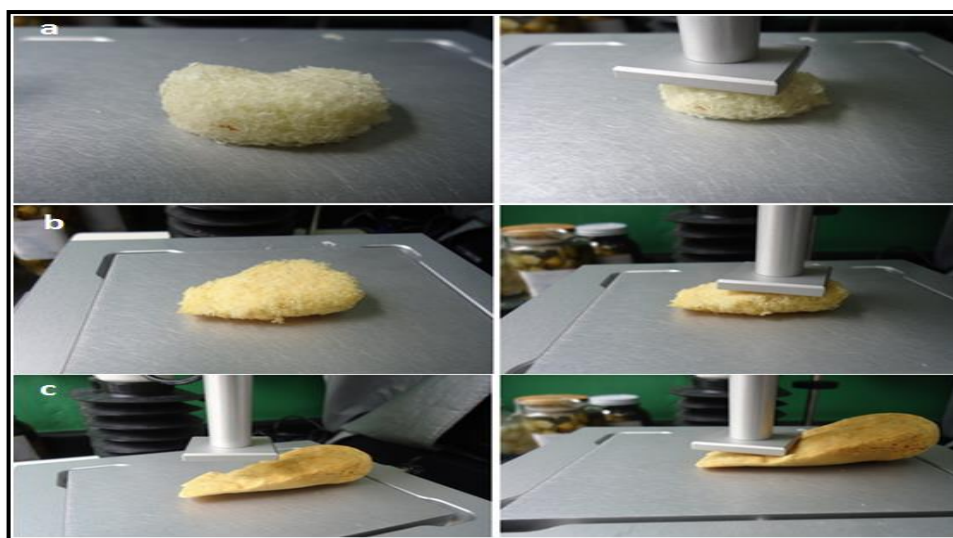


Figura. 3.14. Determinación de textura de las espumas de *Aloe vera* con la goma en estudio



Figura 3.15 Determinación de dureza de espumas de albúmina de huevo con la goma en estudio

La textura de las espumas secas se evaluó usando un ensayo de compresión como se observó en la Fig. 3.14. La fuerza máxima de rotura se define como la dureza, y la pendiente del primer pico se utiliza para describir la nitidez de las muestras. La textura de las espumas secas se vio fuertemente afectada por la estructura de poros de la muestra. F1, que se caracteriza por los poros más grandes y un número limitado de poros más pequeños y presentó valores de estructura, densidad y de resistencia más bajos con respecto a F2, F3 y F4. Las fuerzas máximas de ruptura de las muestras fueron 2.52 ± 0.23 N para la F1, 3.28 ± 0.22 N para F2, 3.80 ± 0.40 N para F3 y 4.26 ± 0.44 N para F4. El análisis estadístico mostró que la textura fue significativamente ($P < 0.05$) afectada por la concentración de goma, como se muestra en la Fig. 3.14.

En cuanto a la nitidez, las muestras de F3 y F4 eran esponjosas y no crujientes. Estas propiedades de textura fueron similares a los reportados para chips de manzana liofilizados, que tienen una estructura muy porosa (Sham et al. 2001). Como se muestra en la Fig. 3.15, la concentración de goma influyó en la dureza y características de textura esponjosa de las muestras. En la Fig. 3.16 se observa la tendencia de fuerza que alcanzó en la espuma con goma guar durante un lapso de tiempo.

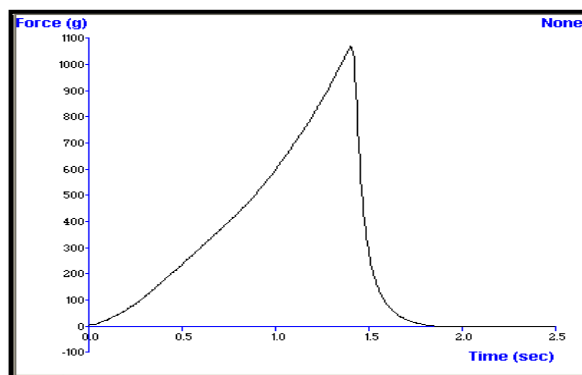


Figura3.16. TPA gráfica del texturómetro.

Como se muestra en la Fig. 3.17 la fuerza de las espumas tubo un incremento gradual de acuerdo al porcentaje de goma guar adicionada a las espumas.

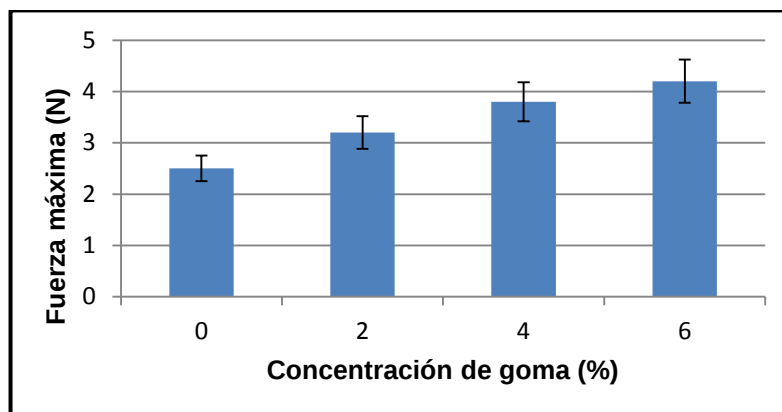


Figura 3.17 Incremento de fuerza con respecto al porcentaje de goma guar

Las fuerzas máximas de ruptura de las muestras para *Aloe vera* fueron 3.25 ± 0.13 N para la F1a, 3.89 ± 0.45 N para F2a, 3.95 ± 0.50 N para F3a y 4.32 ± 0.21 N para F4a. El análisis estadístico mostró que la textura fue significativamente ($P < 0,05$) afectada por la concentración de goma

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Fue posible la formulación de espumas sólidas a partir del mucilago de *Aloe vera* (*Barbadensis miller*), en el proceso de liofilización de las espumas, se calcularon los coeficientes difusivos del agua aplicando el primer término de la solución de la segunda ley de Fick, en donde se observó dos periodos de velocidad decreciente, caracterizado por 2 coeficientes difusivos del agua. El método de liofilización fue de éxito para la obtención de las espumas de *Aloe vera*, y de albúmina de clara de huevo ya que sus propiedades funcionales, no se perdieron en la aplicación de la liofilización.

En el análisis de microscopía de barrido, se observó la morfología y superficie de las espumas en la cual fue posible observar su estructura porosa

De acuerdo a las pruebas realizadas se puede determinar que la adición de goma guar fue un factor determinante para el mejoramiento de las espumas liofilizadas ya permiten una consistencia más agradable a la vista y posteriormente a una aplicación en la industria alimenticia.

Durante el proceso de liofilización es importante el manejo previo de congelación de las muestras ya que este permite un mejor proceso de deshidratación mediante la sublimación ya que conserva el volumen de la muestra.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Astiasarán, Iciar**,(2000) Alimentos: composición y propiedades, Madrid, MacGraw-Hill Interamericana de España, 53-67.
2. **Ayala A. A., Serna C. L. y Mosquera V. E.** (2010). Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) vitae. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 17(2): 121-127.
3. **Badui, Salvador**, (2006) Química de los alimentos, México, Pearson Educación.187-213.
4. **Bustamante Sánchez kendy y Reyes Alemier**, (2006) Una metodología para el estudio del aloe vera. Agente inhibidor de la corrosión, Laurus
5. **Castro R.** (2004). Determinación de los sitios óptimos para establecimiento de Aloe vera (*Aloe barbadensis* miller) en las comunidades agrícolas de la IV región con fines reproductivos y de recuperación de suelos. Proyecto Corfo (en ejecución).
6. **Chak raborty R, Bera M, Mukhopadhyay P, Bhattacharya P** (2005) Prediction of optimal conditions of infrared assisted freeze-drying of aloe vera (*Aloe barbadensis*) using response surface methodology. J Food Eng 68:249–255
7. **Cheftel, Jean-Claude**, (1992) Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos, Zaragoza, España, Acribia. 58-69
8. **Dolz, M., Hernández, M. J., Delegido, J., Alfaro, M. C., y Muñoz, J.** (2007). Influence of xanthan gum and locust bean gum upon flow and thixotropic behaviour of food emulsions containing modified starch. Journal of Food Engineering, 81, 179–186.
9. **Fellows P.**, (1994) . Tecnología del procesado de alimentos. Acribia, S.A. Zaragoza. 421-425.
10. **Germain GC, Aguilera JM** (2012) Identifying industrial food foam structures by 2D surface image analysis and pattern recognition. J Food Eng 111(2):440-448
11. **Gil Hernández Ángel**,(2010) Tratado de Nutrición. Tomo II. Composición y calidad Nutritiva de los alimentos. 2ª Edición. Editorial Médica panamericana.
12. **Goff Douglas** (2005) Whipped Cream Structure Dairy Science and Technology “www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/home.html”.

13. **Hamdami N, Monteau JY, Bail AL** (2004) Transport properties of a high porosity model food at above and sub-freezing temperatures. Part 2: Evaluation of the effective moisture diffusivity from drying data. J Food Eng 62:385–392
14. **Hunter Lab.** ,(2001) Principios básicos de medida y percepción de color. Información técnica. HUNTER LAB
15. **Karim AA, Wai CC** (1999a) Characteristics of foam prepared from starfruit (*AverrhoacarambolaL.*) puree by using methyl cellulose. Food Hydrocolloid 13:203–210
16. **Karim AA, Wai CC** (1999b) Foam-mat drying of starfruit (*AverrhoacarambolaL.*) puree. Stability and air drying characteristics. Food Chem 64:337-343
17. **Dickinson E, Lau CK,** (2005) Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. Food Hydrocolloid 19:111–121
18. **Li X, Pizzi A, Cangemi M, Navarrete P, Segovia C, Fierro V, Celzard** (2012) Insulation rigid and elastic foams based on albumin. Ind Crop Prod37(1):149-154
19. **Loisel, C., Dellavalle, D., Desrumaux, A., Lechevalier, V., Legrand, J.** (2009), Optimization of dry heat treatment of egg white in relation to foam and interfacial properties, Elsevier .20.
20. **Mayer Leonard, Stella M. Betor,**(2006) Conservación de alimentos: Diseño y construcción de un Liofilizado, Elsevier .
21. **Mleko S, Kristinsson HG, Liang Y, Gustaw W** (2007)Rheological properties of foams generated from egg albumin after ph treatment. LebensmWissTechnol 40(5): 908-914
22. **Muller H.G. y Tobin G.** (1986) Nutrición y ciencia de los alimentos, Zaragoza, España, Acribia. 109-11
23. **Muñoz M.,** (2010). Composición de alimentos. Mc Graw.Hill. 191.
24. **Owen R. ,Fennema** (1985), Introducción a la ciencia de los alimentos Barcelona, Reverté.
25. **Sham PWY, Scaman CH, Durance TD** (2001) Texture of vacuum dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety. J. Food Sci 66:1341–1347

26. **Vargas, A. W.** (2003). Plantas medicinales y alimentos naturales para una buena salud: un enfoque Trofo-Terapeutico para uso profesional y personal. Instituto Nacional de Medicina Tradicional, Lima. 1:13-24.
27. **Vega G. A., Ampuero C. N., Díaz N. L., Lemus M. R.** (2005). El Aloe vera (*Aloe barbadensismiller*) como componente de alimentos funcionales. RevChilNutr; 26.
28. **Vial C., Talansier, E., Lechevalier, V., Loisel, C., Della Valle, D., Riaublanc, A., Djelveh, G., Legrand, J.**,(2011). Comparative effect of thermal treatment on the physicochemical properties of whey and egg white protein foams, Elsevier. 16
29. **Xin Yang** (2009). Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: Factors determining properties of wet and dry foams (cakes)., Elsevier