



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO A TEMPERATURA AMBIENTE Y EN
REFRIGERACIÓN SOBRE LA CAPACIDAD ESPUMANTE DE
LA CLARA DE HUEVO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA

EDITH FÉ MANZANO BERMÚDEZ

ASESORA

DRA. LAURA PATRICIA MARTÍNEZ PADILLA

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉX.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

**DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE**



ATN:L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Efecto del almacenamiento a temperatura ambiente y en refrigeración sobre
la capacidad espumante de la clara de huevo

Que presenta la pasante Edith Fé Manzano Bermúdez

Con número de cuenta: 092141263 para obtener el título de:
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Mex. a 01 de agosto de 2011

PRESIDENTE	<u>I.B.Q. Norma B. Casas Alencaster</u>	
VOCAL	<u>Dra. Laura Patricia Martínez Padilla</u>	
SECRETARIO	<u>Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz</u>	
1er SUPLENTE	<u>I.A. Miriam Edith Fuentes Romero</u>	
2º SUPLENTE	<u>M. en C. Araceli Ulloa Saavedra</u>	

Agradezco a DIOS por haberme permitido llegar a buen término en este proyecto, por rodearme de personas buenas y amables que ayudaron en esta tesis.

Agradecimiento a mi asesora Dra. Laura Patricia Martínez Padilla por su paciencia, dedicación y apoyo tanto moral como económico.

Agradezco a la UNAM, a la FES Cuautitlán y al LAPRYFAL, por el apoyo en instalaciones y material para la realización de esta tesis.

Agradezco a Draucin Jiménez Celis por su valiosa ayuda en la realización de instrumental de vidrio; las copas de estabilidad utilizadas en esta tesis.

Agradecimiento a Avicultores Unidos por la donación de un lote de huevo fresco para la experimentación en esta tesis.

Agradecimiento a las maestras I.B.Q. Norma B. Casas Alencaster, Dra. Ma. Eugenia Ramírez Ortiz, I.A. Miriam Edith Fuentes Romero y M.C. Araceli Ulloa Saavedra, por sus comentarios en la realización y revisión de esta tesis.

Agradezco a mis padres Lorimer y Lydia por su grandioso amor, ejemplo de responsabilidad, enseñanza, consejo, apoyo y alegría en mi vida.

Agradezco a Milton por ser esencial en mí existir al ser realmente una pareja. Al ser parte de este sueño que se ha concretado, en especial porque nunca ha dejado de exigirme porque sabe que puedo ser mejor día con día. Por tanto amor: Gracias.

Agradezco a la Sra. Irene por su cariño expresado en todo momento, al igual que su apoyo incondicional en cualquier circunstancia. A doña María Luisa, por enseñarme a vivir con alegría y respeto, no importando la edad.

Agradezco a mis hermanos Lorily, Cristóbal y Jesús, por haber creído en mí, por su amor, fraternidad y estar cuando más se les necesita.

Por último agradezco a Cerecita Farfulla el enseñarme que la vida es alegría y se puede ver con ojos de niño y porque sin su trabajo, no se habría podido realizar esta carrera, una tesis, en fin... la licenciatura y terminar con un título.

A TODOS Y CADA UNO DE ELLOS *“MIL GRACIAS”*

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	2
Capítulo 1. Antecedentes	4
1.1 - El huevo	4
1.1.1 - Formación y partes del huevo	4
1.1.2 - Composición del huevo	8
1.1.3 - Valor nutritivo del huevo	14
1.2 - El Huevo y sus cambios por diferentes procesos	20
1.2.1 - Huevo fresco	20
1.2.2 - Huevo almacenado	20
1.2.3 - Huevo refrigerado	21
1.2.4 - Huevo en cocción	24
1.2.5 - Propiedades funcionales	25
1.3 - Espumas	27
1.3.1 - Definición de una espuma	27
1.3.2 - Espumas de proteínas	28
1.3.3 - Formación de una espuma	29
1.3.4 - Tipos de espumas	30
1.3.5 - Estabilidad de las espumas	33
1.3.6 - Factores que determinan la capacidad espumante y estabilidad de las espumas de proteína	34
1.3.7 - Propiedades de las espumas	38
1.3.8 - Factores que afecta a la espuma de clara de huevo, su durabilidad y estabilidad	40
Capítulo 2. Metodología de investigación	44
2.1 - Objetivos	44

2.2 - Materiales y métodos	44
2.2.1 - Métodos para la clara	46
- Obtención de la clara líquida	46
- Densidad relativa de la clara	48
- pH de la clara	49
2.2.3 - Métodos para la espuma de la clara	49
- Preparación de la espuma	49
- Densidad de la espuma	50
- Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz en la espuma	50
- Estabilidad por velocidad de drenado de la espuma en copas graduadas	51
- Consistencia de la espuma	52
Capítulo 3. Resultados y análisis	54
3.1 - Densidad relativa de la clara	54
3.2 - pH de la clara	56
3.3 - Densidad de la espuma	58
3.4 - Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz en la espuma	60
3.5 - Estabilidad por velocidad de drenado de la espuma en copas graduadas	72
3.6 - Consistencia de la espuma	78
3.6.1 - Dureza	80
3.6.2 - Trabajo de penetración	82
3.6.3 - Fuerza adhesiva	83
3.6.4 - Adhesividad	85
3.6.5 - Estiramiento	87
Conclusiones	89
Bibliografía	92
Apéndices	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Proceso de formación del huevo.	4
Figura 1.2 Corte transversal del huevo y diferenciación de sus distintas partes.	5
Figura 1.3 Vista microscópica de las paredes líquidas de espuma de la clara de huevo batida.	28
Figura 1.4 Espuma líquida.	31
Figura 1.5. Espuma sólida.	31
Figura 1.6 Curva de compresión de: a) mousse, b) merengue horneado.	32
Figura 1.7 Espuma emulsionada.	33
Figura 1.8 (a) Segregación de las burbujas y (b) drenaje del líquido en la espuma húmeda.	35
Figura 1.9 Succión capilar del líquido del centro de la película hasta los bordes de Plateau.	36
Figura 1.10 Difusión gaseosa intraburbuja.	36
Figura 1.11 Evolución de una espuma por difusión gaseosa intraburbuja.	37
Figura 2.1 Separación de la yema de huevo.	48
Figura 2.2 Copa graduada.	51
Figura 2.3 (a) Copa graduada llena con espuma y (b) Copa graduada con líquido drenado.	52
Figura 2.4 Curva modelo de adhesividad.	53
Figura 3.1 Densidad relativa de la clara en función al tiempo de ovoposición y a las dos diferentes temperaturas, T. A. (temperatura ambiente) y T. R. (temperatura de refrigeración).	54
Figura 3.2 pH de la clara en función al tiempo de ovoposición y a las dos diferentes temperaturas, T. A. (temperatura ambiente) y T. R. (temperatura de refrigeración).	56
Figura 3.3 Densidad de la espuma en función al tiempo de ovoposición y a las dos diferentes temperaturas, T. A. (temperatura ambiente) y T. R. (temperatura	58

de refrigeración).

Figura 3.4 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 6 de ovoposición a temperatura ambiente en modo de referencia.	61
Figura 3.5 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 6 de ovoposición a temperatura de refrigeración en modo de referencia.	62
Figura 3.6 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 22 de ovoposición a temperatura ambiente en modo de referencia.	63
Figura 3.7 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 22 de ovoposición a temperatura de refrigeración en modo de referencia.	64
Figura 3.8 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 38 de ovoposición a temperatura ambiente en modo de referencia.	65
Figura 3.9 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 38 de ovoposición a temperatura de refrigeración en modo de referencia.	66
Figura 3.10 Comparación de datos obtenidos en la transmisión entre ambas temperaturas en los días de ovoposición; (a) Día 6, (b) Día 10.	67
Figura 3.11 Comparación de datos obtenidos en la transmisión entre ambas temperaturas en los días de ovoposición, (a) Día 15 y (b) Día 27.	68
Figura 3.12 Comparación de datos obtenidos en la transmisión entre ambas temperaturas en los días de ovoposición, (a) Día 34 y (b) Día 38.	68
Figura 3.13 Tiempo total de drenado del día 6 a temperatura ambiente.	73
Figura 3.14 Drenado de las cuatro copas al minuto 60 de experimentación.	73
Figura 3.15 Velocidad de drenado en función de la temperatura ambiente, temperatura de refrigeración y días de ovoposición.	74
Figura 3.16 Volumen de drenado en un minuto en función de la temperatura ambiente, temperatura de refrigeración y días de ovoposición.	76
Figura 3.17 Gráficas de fuerza (N) en función del tiempo (s) en los días a) 6, b) 22 y c) 38 de ovoposición, a temperatura ambiente (T. A.) y de refrigeración (T. R.).	79
Figura 3.18 Dureza en función a los 38 días de almacenamiento a 22 °C y 4 °C.	80
Figura 3.19 Trabajo de penetración en función a los 38 días de almacenamiento	82

a 22 °C y 4 °C.

Figura 3.20 Fuerza adhesiva en función a los 38 días de almacenamiento a 22 °C y 4 °C. 84

Figura 3.21 Adhesividad en función a los 38 días de almacenamiento a 22 °C y 4 °C. 85

Figura 3.22 Estiramiento en función a los 38 días de almacenamiento a 22 °C y 4 °C. 87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1	Valores aproximados de las partes que componen el huevo.	5
Cuadro 1.2	Composición global del huevo (sin cascarón).	8
Cuadro 1.3	Aminoácidos existentes en el huevo.	10
Cuadro 1.4	Principales proteínas de la clara de huevo.	11
Cuadro 1.5	Porcentajes de las proteínas en la clara de huevo.	14
Cuadro 1.6	Composición nutrimental del huevo de gallina.	15
Cuadro 1.7	Lípidos concentrados en el huevo.	17
Cuadro 1.8	Composición vitamínica del huevo fresco.	18
Cuadro 1.9	Características del huevo fresco y viejo.	22
Cuadro 1.10	Humedades relativas máximas para que el huevo no produzca exudado.	23
Cuadro 1.11	Propiedades moleculares de la proteína en relación con espumas.	29
Cuadro 1.12	Factores que favorecen o afectan a la estabilidad de una espuma de proteína.	34
Cuadro 1.13	Etapas del batido de la clara de huevo.	43

Cuadro 2.1	Calendario de experimentación.	46
Cuadro 2.2	Número de piezas de huevo utilizadas en el tiempo de experimentación.	47
Cuadro 3.1	Valores de la densidad relativa de la clara.	55
Cuadro 3.2	Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el análisis de varianza (ANOVA) para la densidad relativa.	55
Cuadro 3.3	Valores de pH de la clara.	57
Cuadro 3.4	Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el análisis de varianza (ANOVA) para el pH.	57
Cuadro 3.5	Valores de la densidad de la espuma.	59
Cuadro 3.6	Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el análisis de varianza (ANOVA) para la densidad de la espuma.	59
Cuadro 3.7	Valores de la velocidad de drenado de la espuma.	69
Cuadro 3.8	Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el análisis de varianza (ANOVA) para la velocidad de drenado.	70
Cuadro 3.9	Valores del espesor de drenado en un minuto de la espuma.	70
Cuadro 3.10	Valores del tiempo de inicio de drenado en ambas temperaturas.	72
Cuadro 3.11	Valores de la velocidad de drenado de la espuma.	74
Cuadro 3.12	Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el análisis de varianza (ANOVA) para la estabilidad por copas.	75
Cuadro 3.13	Valores del volumen de drenado en un minuto de la espuma.	76
Cuadro 3.14	Valores del tiempo de inicio de drenado en ambas temperaturas.	77
Cuadro 3.15	Valores de la dureza en la espuma.	81
Cuadro 3.16	Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el análisis de varianza (ANOVA) para la consistencia.	82
Cuadro 3.17	Valores del trabajo de penetración en la espuma.	83
Cuadro 3.18	Valores de la fuerza adhesiva en la espuma.	84

Cuadro 3.19 Valores de la adhesividad en la espuma.	86
Cuadro 3.20 Valores del estiramiento en la espuma.	88

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1 Análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para las diferentes propiedades de la clara y de la espuma de la clara.	97
Apéndice 2 Comparación de la media entre las propiedades de la clara y de la espuma de la clara entre la temperatura ambiente y la temperatura de refrigeración.	100
Apéndice 3 Comparación de la media entre las propiedades de la clara y de la espuma de la clara entre los días de ovoposición.	103
Apéndice 4 Valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación (%) de los diferentes parámetros de la clara de huevo y de la espuma de clara de huevo.	108

RESUMEN

Se estudió la capacidad espumante de la clara de huevo, partiendo de un lote de 420 piezas con un tiempo de ovoposición de 3 días, almacenado a dos temperaturas: ambiente (22 °C) y refrigeración (4 °C), durante 38 días dando seguimiento a los cambios de densidad relativa y pH de la clara; así como el cambio de la densidad, consistencia y estabilidad de la espuma.

La densidad relativa en la clara se determinó con un densímetro digital, mientras que el pH con un potenciómetro portátil. La densidad de la espuma se obtuvo por la relación peso/volumen; la estabilidad se determinó por dos métodos en una muestra recién preparada: a través de la transmisión-retrodispersión de luz a través de la espuma y por velocidad de drenado en copas graduadas; mientras que la consistencia se determinó a través de un ciclo de penetración retirada midiendo la dureza, el trabajo de penetración, la fuerza adhesiva, la adhesividad y estiramiento.

Se aplicó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA) con la finalidad de determinar el efecto de las variables, temperatura de almacenamiento y tiempo de ovoposición. Se observaron diferencias significativas por el efecto de la temperatura de almacenamiento en la densidad relativa ($P = 0.001$) y pH de la clara ($P = 0.000$), así como en la estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz, en relación al espesor de drenado en un minuto ($P = 0.018$) y el tiempo de inicio de drenado ($P = 0.001$). Con respecto al efecto del tiempo de ovoposición, tuvo efecto significativo en el pH de la clara ($P = 0.001$), y en la prueba de estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz, en el tiempo de inicio de drenado ($P = 0.049$). La consistencia de la espuma no se vio afectada por las variables de estudio; sin embargo, a temperatura ambiente a medida que transcurría el tiempo de ovoposición se requirió un número mayor de piezas para obtener el mismo volumen de clara que a temperatura de refrigeración. En cuanto a la estabilidad de la espuma formada por velocidad de drenado en copas, se cuantificaron mayores velocidades de drenado a temperatura de refrigeración, aunque estadísticamente el método no mostró diferencias significativas. Como resultado de este estudio se confirma que la capacidad espumante de la clara de huevo, no se afecta por el almacenamiento en refrigeración en el periodo estudiado.

INTRODUCCIÓN

En la historia se ha visto cómo el uso y consumo del huevo, tanto en la cocina no sólo mexicana como en la internacional, así también en la industria alimentaria ha ido en aumento; desde su estado en crudo, hasta la utilización de la yema y la clara por separado; ya sea líquidas, congeladas o en forma de polvo o spray.

El huevo, debido a la complejidad de la composición y las características muy diferentes de las partes que lo componen (yema y clara), ofrece múltiples posibilidades de utilización en función de las cualidades fisicoquímicas y sensoriales que se requieran para cada producto. Así, el huevo tiene capacidad espumante, emulsionante, espesante, aglutinante y colorante, entre otras. Por eso, además del valor nutritivo, los placeres gastronómicos que proporciona consumido en platos que lo emplean como único ingrediente, el huevo se hace imprescindible en multitud de formulaciones industriales que requieren su presencia para aportar sus propiedades funcionales características, entre las que destaca su capacidad espumante.

A pesar de que el poder espumante de la clara de huevo, es reconocido ampliamente, existen muy pocos estudios sobre la evaluación de propiedades físicas, textura, consistencia, rendimiento y estabilidad de la misma. Sin embargo, existen diversas investigaciones buscando sustitutos de la clara con diferentes proteínas (Casas y Olivares, 1995; Muñoz y Silva, 1995; Ramírez 1996; Salager y col., 1999; Hammershoj y col., 2002). Otras investigaciones fueron realizadas sobre el efecto de la vibración en el transporte (Berardinelli y col., 2003), el efecto de las condiciones de operación en el tratamiento térmico por HTST (Murguía, 1993) o el efecto de la alimentación del pollo en las propiedades nutricionales del huevo (Cherian y col., 1996; Croguennec y col., 2002).

En cuanto a la determinación de propiedades reológicas de las espumas, existen pocos estudios como el Cunningham en el año 1976 sobre propiedades de drenaje en espumas de clara de huevo; al ser consideradas las espumas como multifásicas (una o varias fases líquidas o sólidas, y una fase gaseosa), heterogéneas (burbujas de formas y tamaños

distintos) y a menudo, anisótropas (comportamientos mecánicos distintos según la orientación del esfuerzo), el estudio de las espumas, llega a ser mínimo.

Por otro lado, la necesidad de conservación del huevo es inherente, y refrigerarlo ha sido una de las mejores opciones. No obstante, cualquiera que sea su uso, doméstico, panadero, restaurantero, industrial o para su venta directa, existe el cuestionamiento siguiente: ¿Es o no justificable el gasto en electricidad refrigerándolo contra las pérdidas por descomposición?, ¿Qué tanto afecta en la propiedad espumante al refrigerarlo en un plazo no mayor de 40 días?

El principal factor de descomposición se da por alteración microbiana, resultando que el huevo aunque se vea físicamente bien por fuera, por dentro pueda estar descompuesto. Lo anterior repercute en la pérdida de nutrimentos y alteración de las propiedades funcionales y organolépticas. La pérdida de humedad en el huevo, también puede influir en el rendimiento de la espuma. La proliferación microbiana se detiene con la refrigeración, sin embargo, no se conoce el efecto de la misma, en las propiedades espumantes de la clara.

Considerando la importancia que tiene el uso industrial de la clara de huevo como espumante, se propone en esta tesis establecer el efecto de dos condiciones de almacenamiento (temperatura ambiente a 22 °C y temperatura de refrigeración a 4 °C), sobre la capacidad espumante de la clara de huevo de gallina, por medio de sus propiedades para preveer su vida útil.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

1.1 EL HUEVO

1.1.1 Formación y partes del huevo

Día a día casi a un ritmo cadencial, la gallina va formando y moldeando estructuras variadas cuyo producto final es el huevo, verdadera maravilla bioquímica pluridimensional. El proceso de formación del huevo aún dentro de su complejidad sigue los pasos que esquemáticamente se representan en la Figura 1.1 (partes anatómicas, tiempo de permanencia en las mismas y formación de los distintos componentes). De modo que en un período de 24 horas, el óvulo, que es la yema, va a prepararse y protegerse para su salida al exterior (Ortega, 1998).

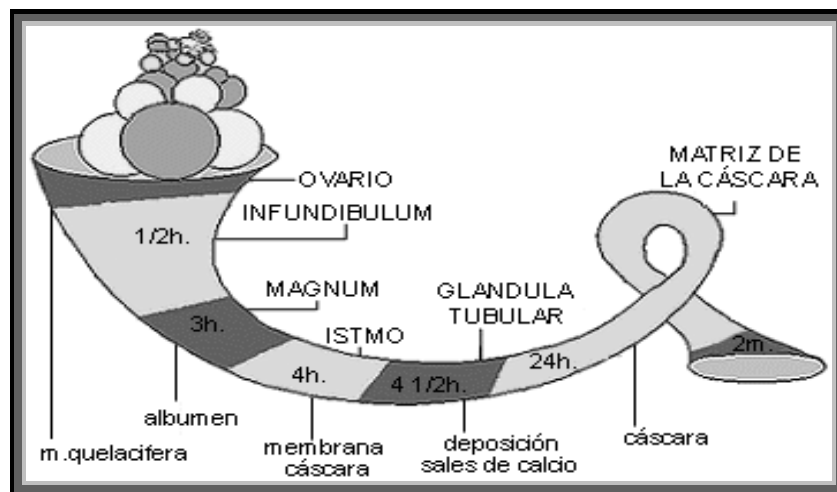


Figura 1.1 Proceso de formación del huevo (Ortega, 1998).

La forma constitucional del huevo (Figura 1.2), hace reflexionar en que aún siendo pequeño en tamaño, se le conoce como la mayor célula individual, su forma oval también aporta más resistencia de la cáscara a las presiones en los "polos", en primer instancia por parte de la madre en el nido y en segunda instancia por parte del vendedor y comprador (Austic y Nesheim, 1990).

En el huevo de gallina, la clara representa de 56 a 61 % del peso total, la yema el 27 a 32 % y la cáscara de 8 a 11 %. Al separar cada una de estas partes, se producen pérdidas que se

aproximan al 0.3 % (Stadelman y Cotterill, 1977). Los datos suelen variar por la raza y tipo de ave, así como la alimentación dada (Cuadro 1.1, Ortega, 1998).

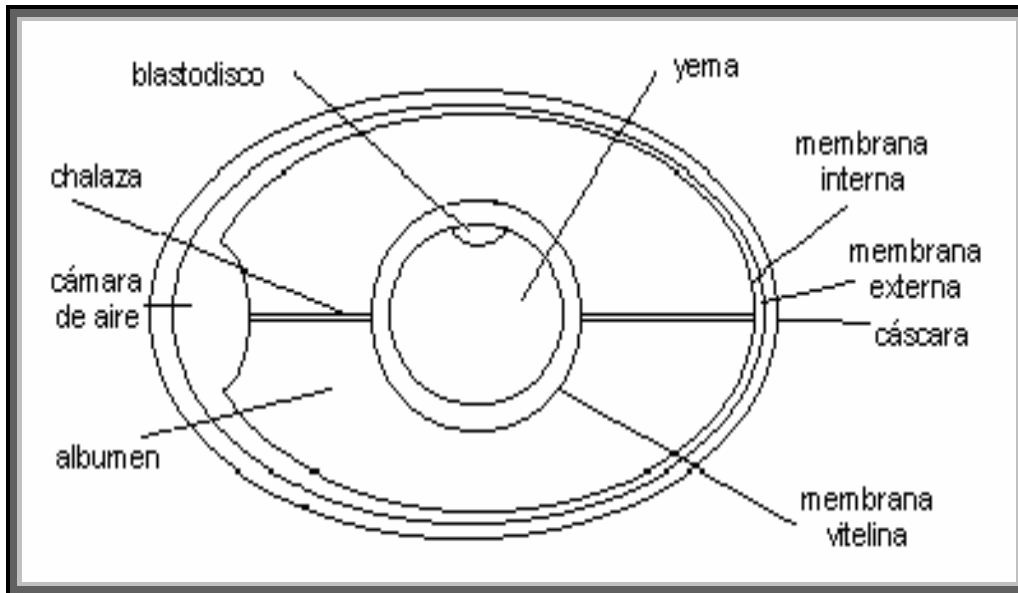


Figura 1.2 Corte transversal del huevo y diferenciación de sus distintas partes (Ortega, 1998).

Cuadro 1.1 Valores aproximados de las partes que componen el huevo (Ortega, 1998).

Huevo entero	100% (en peso)
Cáscara	10.5
Yema	31
Clara	58.5

A continuación se explica brevemente las diferentes partes que componen el huevo de acuerdo a lo reportado por Sim y col. (1994).

Cascarón

El cascarón es la primera barrera de defensa que posee el huevo. Dentro de sus funciones están las siguientes: la contención y transporte del contenido, la exclusión de patógenos y microbios que puedan dañar al contenido y soportar el desarrollo embrionario. Está revestida con una película protectora natural que impide que los microorganismos penetren.

La cáscara es porosa (7,000 a 17,000 poros), es permeable y actúa como un verdadero revestimiento.

El color del cascarón depende de la raza de gallina (blancos o marrones) y no influye en el valor nutritivo del alimento, ni en el sabor, ni el grosor del cascarón, ni en las características culinarias, ni en la calidad del huevo. El Cascarón constituye entre el 8 % y el 11 % del peso total del huevo, formado por carbonato de calcio (94 %) como componente estructural, con pequeñas cantidades de carbonato de magnesio, fosfato de calcio y otros materiales orgánicos.

Clara

La clara de huevo es una mezcla homogénea coloidal (fase dispersa entre 1 y 100 nm). En virtud de ser un coloide, presenta un fenómeno muy particular de dispersión de la luz, llamado efecto Tyndall (el fenómeno por el cual se pone de manifiesto la presencia de partículas coloidales en una disolución o un gas, al dispersar o esparcir éstas la luz y por tal motivo la mezcla puede lucir transparente o translúcida). A 80 °C la clara se coagula y se torna de color blanco.

La clara es una solución viscosa, 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. En la clara densa va disminuyendo su consistencia al transcurrir el tiempo después de haber sido puesto el huevo, y por lo tanto pierde también su capacidad de mantener a la yema en la posición central normal. Con el paso del tiempo la clara espesa se transforma en fluida y el pH se incrementa de 7.6 a 9.3 (Bourgeois y col., 1994; Navarro, 1995).

Yema o vitelo

La yema es la porción amarilla del huevo, está recubierta por la membrana vitelina que la separa de la clara y la protege de una posible ruptura. El color está determinado principalmente por la dieta de la gallina. Puede presentar una mancha rojiza, que corresponde al disco germinativo, a partir de la cual se desarrollaría el pollo en caso de que

el huevo hubiera sido fecundado. Es una dispersión de diferentes tipos de partículas suspendidas en una solución proteínica.

Membranas

Las membranas son dos envolturas que en conjunto forman el corión, una está adherida al cascarón y otra contacta con la clara, ambas están unidas íntimamente y se separan en polo más ancho, para formar la cámara de aire. Son de naturaleza proteínica, estas membranas están compuestas de pequeñas capas de proteínas.

Cámara de aire

La cámara de aire se forma en las orillas del huevo, con las membranas inmediatamente pegadas a la cáscara, mientras se enfría luego de la ovoposición. Se localiza en el polo obtuso o ancho del huevo. Es relativamente pequeña en el huevo recién puesto (3 mm) y aumenta de profundidad a medida que pasa el tiempo. Por tal motivo interviene de manera importante para determinar la calidad el huevo, entre más chica sea la cámara de aire, es más fresco el huevo.

Chalazas

Las chalazas son dos formaciones similares a cordones de un color transparente-blanquecino, localizados en los ejes longitudinales del huevo que se forman en el útero por torsión de las fibras de mucina, secretadas en el magnum. La función principal es la de fijar la yema al centro del huevo. Cuanto más prominente es la chalaza, más fresco es el huevo (muchas veces las personas desconocen esta función de las estructuras fijadoras y creen que son partes de la clara que no se pueden utilizar, o incluso que el huevo está en mal estado, cuando en realidad no lo está).

Capa mamilar

Es la porción interna del cascarón del huevo más calcificada. La mayor parte de la materia orgánica de esta estructura contiene mucopolisacáridos y proteínas azufradas. Cuando hay una distribución dispareja de los núcleos, los cascarones son débiles y con áreas delgadas.

Capas palizadas

Consisten de columnas paralelas de cristal que se extienden para acercarse a la superficie del cascarón.

Cutícula

Es la estructura exterior final del cascarón, es una cubierta orgánica grasosa que se deposita sobre el cascarón conforme pasa a través de la vagina. Tiene un espesor de 10 a 30 micras, está compuesta de materia orgánica llamada mucina. Su función es impedir la entrada de partículas líquidas o sólidas y así evitar la invasión microbiana al interior del huevo. Constituye la primera y más importante barrera contra la invasión bacteriana. La cutícula regula el intercambio de gases a través del cascarón y previene la invasión microbiana.

Disco germinal

Es una estructura que parece una depresión ubicada superficialmente sobre la yema, cuya dimensión y desarrollo están relacionados con el huevo fértil y el desarrollo embrionario.

1.1.2 Composición del huevo

En el Cuadro 1.2 se muestra la composición global del huevo. A continuación se describen los componentes principales del mismo y su función (Edicions Universitat de Barcelona, 2004; Badui, 2006).

Cuadro 1.2 Composición global del huevo (sin cascarón) (Badui, 2006).

Componente	Huevo entero (%)	Yema (%)	Clara (%)
Agua	74.0	50.0	87.9
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	7.0	0.3

Contenido de agua en el huevo

Al componer casi la tercera parte del huevo, ésta se involucra en múltiples funciones: en ella son transportados la mayoría de los nutrientes y sustancias necesarias para el buen funcionamiento celular, todas las reacciones químicas del embrión tienen lugar en el medio acuoso, lubrica y proporciona soporte estructural tanto a la yema como a la clara; balancea

los electrolitos, que ayudan a controlar la presión dentro del huevo como amortiguador, además de poseer una función termoreguladora dentro del huevo (Badui, 2006).

Proteínas del huevo

Las proteínas del huevo, son ricas en aminoácidos esenciales, aquellos que no los sintetiza el cuerpo en cantidades suficientes, su disposición o secuencia de aminoácidos determinan la estructura y la función de dicha proteína. La naturaleza dinámica y la flexibilidad de las proteínas, demuestran la posibilidad de aumentar el volumen de espuma. Las investigaciones en propiedades funcionales de las proteínas del huevo, ponen más énfasis en comprender cómo afectan la flexibilidad y la interacción de proteínas, en las condiciones de procesamiento para diferentes propósitos de control y funcionalidad en las espumas a nivel industrial (Vaclavik y Chistian, 2002). Son tan buenas que los científicos la usan como patrón con la que se compara la calidad proteínica de otros alimentos. Los huevos son una fuente barata y rica de proteínas, en casi todas sus preparaciones son de fácil digestión (Ortega y col., 1997). Los aminoácidos intervienen en muchas de las síntesis del organismo, como precursores y antioxidantes, las cantidades de aminoácidos contenidas en la porción comestible del huevo, se muestran en el Cuadro 1.3 (Carvajal, 2006).

El huevo contiene principalmente proteínas globulares hidrófilas en un medio acuoso, por lo que su función dentro de la célula es movilidad y dinamismo. Las proteínas globulares están constituidas por cadenas polipeptídicas plegadas estrechamente (estructura terciaria), de modo que adoptan formas esféricas o globulares compactas, en el que rige un arreglo tridimensional en el cual participan las atracciones intermoleculares (fuerzas de Van der Walls, puentes de Hidrógeno, puentes disulfuro). También hay que considerar las proteínas más estructuradas que constituyen las chalazas (Badui, 2006).

Las proteínas del huevo son los agentes preferidos en la industria y en la cocina, pues son naturales, comestibles y tienen tendencia a la elasticidad, relativamente estables al estar presentes en una espuma. La concentración de proteína es una variable importante en la formación de espuma (Damodaran y col., 2008).

Cuadro 1.3 Aminoácidos existentes en el huevo (Carvajal, 2006).

	Función de los AA en el organismo	Aporte por ración PC (**)
Alanina	Interviene en la síntesis de glucosa y de urea.	755 mg
Arginina	Sustrato para la síntesis de óxido nítrico y creatina. Necesaria en la síntesis de urea.	755 mg
Ácido aspártico	Interviene en la síntesis de glucosa, urea, purinas y pirimidinas.	1239 mg
Cisteína	Antioxidante y precursora de la taurina, implicada en la formación de sales biliares. Síntesis de glutatión.	236 mg
Ácido glutámico	Participa en la síntesis del neurotransmisor cerebral ácido G-amino butírico (GABA) y es fundamental en reacciones de transaminación.	1536 mg
Glicina	Interviene en la síntesis de sales biliares, del grupo hemo y creatina. Neurotransmisor.	450mg
Histidina	AA esencial. Precursor de la histamina.	280 mg
Isoleucina	AA esencial. Forma parte de las proteínas corporales.	789 mg
Leucina	AA esencial. Forma parte de las proteínas corporales. Es el AA más abundante en los tejidos.	1069 mg
Lisina	AA esencial. Participa en la biosíntesis de carnitina y en la formación de colágeno.	755 mg
Metionina	AA esencial. Interviene en la síntesis de la carnitina, colina, cistina y otros compuestos de azufre.	382 mg
Fenilalanina	AA esencial. Precursor de tirosina. Ambos AA son precursores de las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina), hormonas tiroideas (tiroxina), dopamina, etc.	679 mg
Prolina	Forma parte de las proteínas corporales.	500 mg
Serina	Constituyente de fosfolípidos y de esfingosina	976 mg
Treonina	AA esencial. Forma parte de las proteínas corporales.	602 mg
Triptófano	AA esencial. Precursor de la serotonina (neurotransmisor cerebral) y de la vitamina niacina.	195 mg
Tirosina	Forma parte de las proteínas corporales.	501 mg
Valina	AA esencial. Forma parte de las proteínas corporales.	950 mg

(**) PC: parte comestible. Se considera 1 ración = 2 huevos medianos (60 g por 2 u = 120 g enteros por 0.87g PC = 104 g de PC)

Proteínas de la clara

Tres glucoproteínas (ovoalbúmina, conalbúmina y ovomucoide) conforman más del 80 % del total de proteínas en la clara de huevo, clasificadas como proteínas globulares (Vaclavik y Christian, 2002). Las proteínas que ayudan a la formación de espumas son la ovomucina, lisozima, ovoglobulinas y ovoalbúminas (Sauveur, 1998).

En el siguiente cuadro se agrupan las diferentes proteínas de la clara, sus propiedades y características.

Cuadro 1.4 Principales proteínas de la clara de huevo (Sauveur, 1998).

Tipo de proteína	Propiedades	Características
GPA Ovalbúminas	Se coagulan por la acción del calor	Fosfoglicoproteína
GPA Conalbúminas	Fijan el hierro y las flavoproteínas	Une metales
GPA Ovomucoides	Son inhibidores de la tripsina	Inhibe tripsina
GPA Ovomucinas	Responsable de la estructura de la clara densa y participa en la estabilidad de la espuma	Espumante y sialoproteína
HPB Lisozima	Responsable de la estructura de la clara densa y participa como agente espumante	Alisa paredes bacterianas
GPA Ovoglobulinas	Permiten la formación de la espuma después de batir	Estabiliza la espuma
Ovoflavoproteína	Responsable del color amarillo verdoso de la clara	Unión fuerte con la rivo flavina
Ovoinhibidor	Inhibe las proteasas de origen bacteriano y fungal.	
GPB Avidina	Es una antibiotina en estado crudo	Une biotina

GPA: Glicoproteínas ácidas

GPB: Glicoproteínas básicas

HPB: Holoproteína básica

OVOALBÚMINA: Es la principal proteína de la clara del huevo, constituyendo más de la mitad del total (54 % del peso de la clara de huevo). Pertenece a la superfamilia proteínica de las serpinas y posee cerca de 385 aminoácidos, aunque no es capaz de inhibir cualquier peptidasa. La función biológica es de reserva para la cría del ave (Ortega, 1998).

Esta proteína se desnaturaliza fácilmente por el calor (65 °C), una característica de interés cuando los huevos se utilizan en la preparación de alimentos. Es rica en cisteína y metionina y presenta grupos sulfhidrilos y la presencia de estos grupos hacen una gran contribución al sabor, textura y aroma característicos del huevo (Huntington y Stein, 2001).

El almacenamiento del huevo lleva a un cambio conformacional de la ovoalbúmina a una forma térmicamente más estable llamada S-ovoalbúmina (el huevo fresco tiene un 5 % y un huevo almacenado por 6 meses en refrigeración tiene un 81 %) levantando el punto medio de la desnaturalización térmica (T_m) de 78 a 86 °C, el líquido drenado dentro del huevo aumenta. La apariencia de la S-ovoalbúmina coincide con la pérdida de valor como alimento en el huevo almacenado ya que los huevos con alto contenido de S-ovoalbúmina tienen claras menos firmes y no coagula de manera efectiva en la cocción. El incremento en estabilidad en la conversión a la forma “S” resulta del cambio conformacional unimolecular y no de un cambio en la estructura química; la forma “S” difiere de la ovoalbúmina nativa solamente en su mayor estabilidad, grado de compactación e hidrofobicidad (Edid, 2010).

CONALBÚMINA: También llamada Ovotransferrina, es una glicoproteína y suma alrededor del 12 % del total de las proteínas en la clara de huevo, también se coagula por el calor, contiene un bajo contenido de carbohidratos (2.6 %) (Huntington y Stein, 2001). Es rica en enlaces disulfuro, contiene restos de manosa y glucosamina; la capacidad secuestrante del hierro la vuelve más termorresistente (Ortega, 1998).

La conalbúmina es relativamente estable al calentamiento entre 60 °C y 82 °C dependiendo de las isoformas, formas diférrica y apolipoproteína (apo), respectivamente (Edid, 2010).

OVOMUCOIDE: Una tercera proteína, representa el 11 % del total, está compuesta de 186 aminoácidos arreglados en 3 dominios en tándem (designados DI, DII y DIII), con 60 aminoácidos cada uno (Huntington y Stein, 2001). Es resistente a desnaturalización por calor en soluciones ácidas, su resistencia reside a su alto contenido en cistina y a los enlaces disulfuro. Es una glucoproteína rica en glucosamina (14 %) y aminoácidos azufrados (12 %). Presenta manosa, galactosa y ácido neuramínico. Es rica en enlaces disulfuro (Ortega, 1998).

Cada dominio está entrecruzado por 3 uniones disulfuro intradominio, pero carecen de uniones disulfuro interdominio. Esta característica estructural única puede ser responsable de su alta estabilidad contra proteólisis (Edid, 2010).

OVOMUCINA: Es una glicosulfoproteína que contribuye a la viscosidad de la clara densa, existe aproximadamente un 3.5 % de ésta, la molécula es extremadamente larga, es más rica en ácido neuramínico y siálico. Es una proteína muy electronegativa, estable a la desnaturalización por calor e insoluble a pH neutro o ácido (Ortega, 1998).

Se han aislado dos formas: α -Ovomucina que es pobre en carbohidratos y β -Ovomucina que es rica en carbohidratos (Huntington y Stein, 2001).

LISOZIMA G₁: representa solamente el 3.4 % del contenido total de proteína de la clara, es relativamente estable al calor ya que tiene 4 puentes S-S. La Lisozima es utilizada como un conservador en alimentos así como una sustancia activa incluida en preparaciones farmacéuticas (Huntington y Stein, 2001).

Es una proteína interesante ya que juega un importante papel en la defensa contra infección bacteriana en el huevo; es conocida por sus propiedades antibacteriales pero también presenta actividades antiviral, antitumoral e inmunomoduladora ya que disuelve las paredes celulares de ciertas bacterias, en especial los mucopolisacáridos de los microbios (estafilococos y estreptococos) y algunas Gram positivas. Se le ha relacionado con la ovomucina y el adelgazamiento de la clara durante el almacenamiento (Ortega, 1998).

OVOGLOBULINAS G₂ Y G₃: Comprenden menos del 8 % de las proteínas de la clara, son consideradas importantes para la formación de espuma. Actúa como agente gelificante cuando se desnaturaliza a partir de 56 °C, hasta los 63 °C (Huntington y Stein, 2001).

OVOFLAVOPROTEÍNA: Existe una cantidad pequeña de esta proteína (0.8 %) a la que se fija la riboflavina y es la responsable del color amarillo verdoso de la clara de huevo. Es una glicoproteína con 8 grupos disulfuro por molécula, que tiene la particularidad de unirse fuertemente a la riboflavina, pero el complejo se disocia durante el calentamiento (Ortega, 1998).

OVOINHIBIDOR: Se encuentra en un 0.1 % y se le describe como la fracción que es capaz de inhibir las proteasas de origen bacteriano y fúngico (Huntington y Stein, 2001). Su papel funcional en la clara no se conoce y tiende a ser estable a altas temperaturas (Ortega, 1998).

AVIDINA: Existe en pequeña porción de 0.05 % de ésta y posee la capacidad de fijar y sintetizar la biotina (vitamina B12). Su punto isoeléctrico (pI) es elevado debido a su alto contenido de asparagina (Ortega, 1998). La avidina se desnaturaliza fácilmente cuando se cuecen los huevos. Es una glicoproteína que se une a la biotina inactivándola, inhibe el crecimiento de microorganismos, ya que la biotina es necesaria para su crecimiento (Huntington y Stein, 2001).

El Cuadro 1.5 proporciona datos sobre el contenido de las proteínas de la clara de huevo en 100 g de porción comestible, el punto isoeléctrico (pI) que presenta la mayoría de ellas, su peso molecular y la temperatura para desnaturalizarse de las que se tiene registro.

Cuadro 1.5 Porcentajes de las proteínas en la clara de huevo
(Huntington y Stein, 2001; Vaclavik y Chistian, 2002).

Proteína	g/100	pI	PM kDa	T °C
Ovoalbúmina	54.0	4.5	44.5	65
Conalbúmina	12.0	6.1	77.7	61
Ovomucoide	11.0	4.1	28.0	77
Ovomucina	3.5	4.5 - 5.0	1800 - 8300	-
Lisozima G ₁	3.4	10.7	14.3	75
Globulina G ₂	4.0	5.5	49.0	56 - 63
Globulina G ₃	4.0	5.8	49.0	-
Ovoflavoproteína	0.8	4.0	32000	-
Ovohinibidor	0.1	5.1	49000	-
Avidina	0.05	10.0	68.3	-

- no hay datos registrados de estas proteínas

1.1.3 Valor nutritivo del huevo

El huevo, un alimento sano y muy completo, tanto por la variedad de nutrientes que contiene, como por su elevado grado de utilización por el organismo humano, es uno de los alimentos que cumple funciones importantes para la salud. El huevo es rico en proteínas de alto valor biológico y de fácil digestión.

Las principales características nutritivas son:

- Fuente perfectamente equilibrada de proteínas, rica en aminoácidos esenciales y de alto valor biológico.
- Fuente de grasas fácilmente digestibles. Rico en colesterol y ácido oléico.
- Principal fuente de fosfolípidos de la dieta.
- Poco energético.
- Rico en vitaminas, Fósforo y Hierro.
- Deficitario en Calcio, glúcidos y vitamina C.

En el Cuadro 1.6 se muestra como está constituida la composición en 100 gramos de porción comestible de huevo (Moreiras y col., 2010).

Cuadro 1.6 Composición nutrimental del huevo de gallina
(Moreiras y col., 2010).

Componente	Huevo	Yema	Clara	Componente	Huevo	Yema	Clara
Agua (g)	74.5	51.7	88	Vitamina B12 (µg)	2.1	2	0.1
Energía (kcal)	162	353	49.1	Vitamina C (mg)	0	0	0.3
Proteínas (g)	12.7	16.1	11.1	Pantoténico (mg)	1.8	3.7	0.14
Carbohidratos (g)	0.68	0.3	0.7	Vitamina A (µg)	227	886	0
Almidón (g)	0	0	0	Retinol (µg)	225	881	0
Azúcares sencillos (g)	0.68	0.3	0.7	Carotenoides (µg)	10	29	0
Lípidos (g)	12.1	31.9	0.2	Vitamina D (µg)	1.8	5.6	0
Ácidos Grasos Saturados (g)	3.3	9.5	----	Vitamina E (µg)	1.9	5.5	0
Ácidos Grasos Monosaturados (g)	4.9	13	----	Vitamina K (µg)	8.9	2	0.01
Ácidos Grasos Polisaturados (g)	1.8	5.5	----	Calcio (mg)	56.2	140	11
Colesterol (g)	0.41	1.26	0	Fósforo (mg)	216	590	21
C 18 1 Ácido Oléico (g)	4.4	11.7	----	Hierro (mg)	2.2	7.2	0.2
C 18 2 Ácido Linoléico(g)	1.6	4.8	----	Yodo (µg)	12.7	12	6.8
C 18 3 Ácido Linolénico (g)	0.098	0.26	----	Zinc (mg)	2	3.8	0.02
Fibra vegetal (g)	0	0	0	Magnesio (mg)	12.1	16	12
Alcohol (g)	0	0	0	Sodio (mg)	144	51	170
Tiamina (mg)	0.11	0.29	0.022	Potasio (mg)	147	138	154
Riboflavina (mg)	0.37	0.4	0.32	Manganeso (mg)	0.071	0.13	0.04
Equivalentes de Niacina (mg)	3.3	4.2	3.4	Cobre (mg)	0.065	0.35	0.006
Vitamina B6 (mg)	0.12	0.3	0.012	Selenio (µg)	10	19	5.4
Equivalente al Folato dietético (µg)	51.2	159	9.2				

Carbohidratos del huevo

La energía que da el consumo del huevo en la ingesta diaria refiere una porción comestible de 2 piezas 150 cal (un huevo de 57 g = 75 cal), esta energía puede ayudar en parte al buen funcionamiento del corazón, del sistema nervioso, para realizar el trabajo muscular, para desarrollar una actividad física, para los procesos biosintéticos relacionados con el crecimiento, reproducción y reparación de tejidos no olvidando que ayuda a mantener la temperatura corporal; se considera un alimento poco energético.

Lípidos del huevo

El huevo es la principal fuente de fosfolípidos de la dieta y contribuye a satisfacer de forma significativa las necesidades en ácido linoléico, ácido esencial que el organismo no puede sintetizar. Es rescatable la riqueza del huevo en ácido oleico (monoinsaturado), valorado por sus efectos favorables sobre la salud. Los ácidos grasos que se encuentran en los triglicéridos de la yema de huevo, son oleico, palmítico, esteárico y linoléico, en ese orden como se muestra en el Cuadro 1.7 (Carvajal, 2006).

Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), especialmente los ácidos docosahexanoico (DHA) y araquidónico, son ácidos grasos esenciales, cuya presencia en la dieta es imprescindible para el normal crecimiento, la función cerebral o la agudeza visual, especialmente en los niños. Del 100 % en un huevo el total de lípidos (grasa bruta) es del 10 - 12 %. De esta cantidad 29.03 % corresponden a los ácidos grasos saturados (AGS), 40.32 % a los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI), y 9.67 % a los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI). La relación poliinsaturados-saturados es de 0.33 % considerada más que aceptable, por tanto recomendable en términos de nutrición. Los ácidos linoléico y alfa-linolénico, precursores de los AGPI 3 y 6, se encuentran en la yema en proporciones del 0.6 % y 1.2 %, respectivamente. Las restricciones en el consumo de huevos y la consideración de este alimento como “peligroso” por su contenido en colesterol, no están avaladas por los numerosos y exhaustivos estudios científicos realizados en las dos últimas décadas (Carvajal, 2006).

Los antioxidantes y vitaminas del huevo

La riqueza del huevo en fosfolípidos y lecitinas más el contenido en otras sustancias antioxidantes, como el selenio y la vitamina E, o la presencia en la yema de carotenoides en mayor o menor proporción hacen presumir la importancia del huevo como alimento antioxidante, junto con los anteriormente nombrados más las xantofilas de la yema contribuyen a dotar a este alimento de un valor especial para la salud. La acción antioxidante de la vitamina E a nivel tisular se ve potenciada por la presencia de selenio en el huevo. Por otro lado, la riqueza del huevo en selenio, y la importancia de este

oligoelemento en la prevención de ciertos tipos de cáncer, viene a enriquecer el valor nutritivo del huevo (Moeller y col., 2000).

Cuadro 1.7 Lípidos concentrados en el huevo (Carvajal, 2006).

	Función en el organismo	CDR+ IR++ (*)	Aporte por ración PC (**)	% de las CDR o IR (***)
AGS (ácido graso saturado)	En cantidades altas puede modificar negativamente el perfil lipídico de la sangre	20 g	2.8 g	14 %
AGMI (ácido graso monoinsaturado)	Efecto benéfico sobre la distribución de las lipoproteínas plasmáticas		3.6 g	
AGPI (ácido graso poliinsaturado)	En cantidades altas puede modificar negativamente el perfil lipídico de la sangre		1.6 g	
C18:1 Ácido oleico	Efecto benéfico sobre la distribución de las lipoproteínas plasmáticas.		3.4 g	
C 18:2 Ácido linoleico	AG esencial serie Omega-6 (aportado por alimentos). Necesario para la formación de las membranas celulares, el normal desarrollo y función del cerebro y del sistema nervioso; precursor de sustancias en la regulación de la presión arterial, la viscosidad de la sangre, el sistema inmune y la respuesta inflamatoria	10 g	1.34 g	13.4 %
C 18:3 Ácido α -linolénico	AG esencial serie Omega-3 (aportado por alimentos). Necesario para la formación de las membranas celulares, para el normal desarrollo y función del cerebro y del sistema nervioso, precursor de sustancias en la regulación de la presión arterial, la viscosidad de la sangre, el sistema inmune y la respuesta inflamatoria.	2 g	0.04 g	2 %
AG trans	En cantidades altas pueden modificar negativamente el perfil lipídico de la sangre		0.032 mg	
C 20:5 EPA (Ácido eicosa-pentaenoico)	AG serie Omega-3. Antiagregante y vasodilatador. Importante en el desarrollo del cerebro y en la prevención de las enfermedades cardiovasculares.		7 mg	
C 22:6 DHA (Ácido docosa-hexaenoico)	AG de la serie Omega-3. Importante en el desarrollo del cerebro y en la prevención de las enfermedades cardiovasculares.		60 mg	
Total EPA + DHA		250 mg	67 mg	26.8 %
Total AG Omega-3	Importantes en el desarrollo del cerebro y en la prevención de las enfermedades del corazón.	250 mg	101 mg	40.4 %
Colesterol	Componente importante de las membranas celulares, de la bilis, precursor de vitamina D y hormonas sexuales; interviene en numerosos procesos metabólicos y es imprescindible en la embriogénesis y en la división celular.		410 mg	

(*) +CDR: Cantidades Diarias Recomendadas. ++ IR: Ingesta de Referencia
(**) PC: parte comestible. Se considera 1 ración = 2 huevos medianos (60 g por 2 u = 120 g enteros por 0.87g PC = 104 g de PC)
(***) Aporte del consumo de una ración de huevos (unos 100 g de PC) a las CDR o IR

La biotina está vinculada a la protección de la piel, a un gran número de reacciones del organismo y al mantenimiento de las funciones corporales. La ingesta diaria recomendada de biotina es de 30 mg por día, un huevo cubre aproximadamente en un 40 %. Los huevos contienen además riboflavina (20 % de la cantidad diaria recomendada) y vitamina K (31 %) (Ould y Gunasekaran, 2002). En el Cuadro 1.8 se presentan las vitaminas en 100 g de huevo fresco (Sauveur, 1988).

Cuadro 1.8 Composición vitamínica del huevo fresco (Sauveur, 1988).

Vitamina	Albumen	Yema	Huevo entero sin cáscara
Vitaminas Liposolubles			
A, U.I.	-	800-2500	250-700
D3, U.I.	-	110-450	35-150
E, mg	-	3.5-10	1.1-3.5
K, mg	-	0.05-0.15	0.02-0.06
Vitaminas Hidrosolubles			
Colina, mg	-	1250	410
Tiamina (B1), µg	3-5	275	95
Riboflavina (B2), µg	300-450	400-500	300-350
Nicotínico, µg	85-95	40-70	60-80
Piridoxina (B6), µg	25	300-350	150-200
Pantoténico, µg	190-250	2500-4500	1200-1700
Biotina, µg	5-7	30-690	15-20
Fólico, µg	1	50-105	15-35
B12, µg	-	2.1-3.5	0.7-1.2

Luteína y zeaxantina

Recientes investigaciones ponen de en evidencia que los huevos son fuente de carotenoides (luteína, zeaxantina) fácilmente disponibles, con un aporte por ración de 331 mg, y que estos componentes antioxidantes pueden ayudar en la prevención de la degeneración macular y contribuir a retrasar la aparición de cataratas y la ceguera en personas mayores; puesto que son los principales carotenoides en la lente ocular y en la región macular de la retina, donde pueden actuar como protectores del daño fototóxico de la luz que llega al ojo protegiendo los lípidos de la membrana de las células. También se les conoce como antimutagénico y anticarcinogénico. Su deficiencia podría estar relacionada con una menor protección frente al estrés oxidativo y mayor riesgo de algunas enfermedades crónicas (Moeller y col., 2000).

La colina

Por otra parte, el huevo es la mejor fuente dietética de colina, componente importante en diversos procesos metabólicos, en la construcción de membranas y del neurotransmisor acetil colina. Dado que han sido detectadas deficiencias de colina que llevan al padecimiento de deterioros hepáticos, de crecimiento, infertilidad, hipertensión, cáncer y pérdida de memoria, se han fijado recientemente unas ingestas adecuadas que son de 550 mg/día en varones y 425 mg/día en mujeres, adultos (más durante embarazo y lactancia). Un huevo aporta gran parte de la colina recomendada por los organismos responsables de la educación nutricional, unos 500 mg/día, que cubre la recomendación nutricional diaria. También es la mejor fuente dietética de lecitina (fosfatidilcolina), su deficiencia podría causar daño hepático (Moeller y col., 2000).

Hierro

Necesario para la formación de la hemoglobina de los glóbulos rojos y para el transporte de oxígeno a todas las células. Contribuye al normal funcionamiento del sistema inmune, al desarrollo neurológico y cognitivo. Su deficiencia trae anemia (palidez, debilidad, fatiga, problemas respiratorios) y una mayor susceptibilidad a las infecciones, la cantidad que aporta una porción comestible de huevo (7.4 %) es de 7.2 mg de la yema y 0.2 mg de la clara (Verdú, 2003).

Zinc

Esencial para el crecimiento. Componente de más de 200 enzimas que participan en el metabolismo. Interviene en la formación de material genético, división celular, síntesis proteínica, reacciones inmunitarias, sensación gustativa, cicatrización de heridas y desarrollo normal del feto. Su poco consumo ayuda al retraso en el crecimiento y en la maduración sexual, a la fatiga, pérdida de sensación gustativa y olfativa, cicatrización lenta de heridas. La cantidad de porción comestible de huevo (3.82 %) es de 3.8 mg en la yema y 0.02 mg en la clara (Verdú, 2003).

1.2 EL HUEVO Y SUS CAMBIOS POR DIFERENTES PROCESOS

El huevo puede consumirse crudo, ya sea completo o en alguna de sus partes por separado. El consumo de huevo crudo no es recomendable, por razones tanto higiénicas como nutricionales (Applegate, 2000).

1.2.1 Huevo fresco

La frescura coincide con los días de ovoposición, pero no existe una definición legal sobre el tiempo para calificar un huevo como fresco. Se puede considerar que un huevo fresco es aquel que se ha conservado convenientemente cuando se mantienen inalterables aún después de tres semanas su valor nutritivo, su sabor agradable y su aptitud culinaria. Algunos de los defectos que pueden manifestar los huevos frescos son grietas, fugas, pérdida de la frescura o cutícula superficial, manchas coloreadas o sucias en su exterior, o coágulos de sangre, a veces la yema se encuentra totalmente ensangrentada o presenta manchas translúcidas cuando se examina por iluminación al trasluz. Cualquier rotura de la cáscara o la presencia de suciedad favorecen considerablemente las alteraciones que sufren durante el almacenamiento (Rainhard y col., 1968).

1.2.2 Huevo almacenado

Durante el almacenamiento, los huevos pasan por cambios fisiológicos importantes como la licuefacción de clara, donde la estructura gelatinosa se deteriora y se hace más delgada; el aumento en pH de 7.6 a 9.5, debido a la difusión de bióxido de carbono del huevo a su alrededor; aplanamiento de la yema y aumento en la cámara de aire. Los cambios de la lisozima y la ovomucina, son una de las causas responsables para la licuefacción de la clara, la interacción de este complejo de la naturaleza electrostática es correlacionada con la viscosidad de la clara y depende del pH; las propiedades dieléctricas pueden indicar la edad del huevo y su calidad (Navarro, 1995; Rangi y col., 2007).

El “envejecimiento” como la disminución de la calidad del huevo, no es correlativa con su edad, depende por completo de su almacenamiento. Se entiende por “envejecimiento” las alteraciones que se producen en los componentes internos del huevo al aumentar la edad del mismo, que se explican a continuación (Navarro, 1995):

- Pérdida de agua, modificaciones del grado de viscosidad.
- Disminución de la consistencia (fluidificación de la clara).
- Procesos osmóticos:
 - ° Alteraciones de la concentración (el agua de la clara se desplaza a la yema y van acompañados de la destrucción de la trama de mucina (armazón proteo-fibrilar).
 - ° La evaporación de agua (cuya intensidad depende del grado de humedad, de la temperatura y del movimiento circulante del aire).
- Pérdida de peso (aumentando paralelamente el volumen de la cámara de aire).

Por lo tanto el envejecimiento se caracteriza por una reducción del volumen de la clara, acompañada a la vez de fluidificación y por un aumento del volumen de la yema con relajación de la membrana vitelina (Navarro, 1995).

Se recomienda mantener el huevo empaquetado en casa no más de 10 días, cuando están cubiertos por celofán, pues necesitan aire, éste puede protegerlos de los olores extraños, pero favorece el enmohecimiento (Sauveur, 1993). Los gérmenes capaces de desarrollarse aún a bajas temperaturas son: *Pseudomonas*, *Proteus*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Streptococcus*, bacterias coliformes y mohos (Frazier y Westhoff, 1993; Vanaclocha y Requema, 2003).

Los huevos que se venden tienen un promedio de 14 días y pueden conservarse aún varias semanas en casa, sin que por ello se haga perceptible una alteración del sabor. El huevo recién recolectado tiene características diferentes frente al que es viejo, el huevo fresco tiene mejor consistencia, forma, aspecto, olor y sabor, tanto en la clara como en la yema, mientras más fluida sean la clara y la yema, más viejo será el huevo (Cuadro 1.9).

1.2.3 Huevo refrigerado

Un huevo recién puesto tiene una temperatura interna de 41 °C, temperatura que hay que reducir lo más rápidamente posible si se desea mantener su calidad. Parte de esta reducción

de temperatura ya tiene lugar automáticamente en la granja al transcurrir normalmente unas horas desde que el huevo es puesto hasta que es recogido.

Cuadro 1.9 Características del huevo fresco y viejo (Alains, 2004).

	Huevo fresco	Huevo viejo
Cáscara	Lustrosa	Mate
Cámara de aire	Pequeña	Aumentada
Clara	Consistente en gran parte	Fluida en gran parte
Forma de la yema	Convexidad elevada	Convexidad aplanada
Situación de la yema	Central difícilmente movable	De fácil movilidad y a veces adherida a la cáscara
Consistencia de la yema	Compacta	Ligeramente fluida
Membrana vitelina	Lisa, tensa	Rugosa, con pliegues
Aspecto de la yema	Homogéneo	Nebuloso
Olor	Ninguno	Repugnante, después pútrido
Sabor	Propio del huevo fresco	Insípido, después repulsivo

Las pérdidas en la calidad interna de los huevos se producen principalmente por la proliferación de todo tipo de microorganismos cuando la temperatura es superior de 18 - 20 °C. De ahí la importancia de pasar los huevos a una temperatura ambiente baja para que cedan lo antes posible el calor interior que tienen y se detenga así esta proliferación que, de otra forma, haría descender su calidad interna (Pelayo M, 2007).

Aunque se habla siempre del factor temperatura, no se puede dejar a un lado el factor humedad y viendo la importancia de ambos por separado:

1.- Una elevada temperatura acelera las pérdidas de calidad, tanto en la yema como de la albúmina. La yema, al debilitarse la membrana vitelina, se aplanan considerablemente, y respecto a la albúmina, al ir fluidificándose la albúmina densa, aumenta la proporción de la albúmina fluida, con lo que la superficie cubierta por el huevo abierto es mucho mayor. Manteniéndose los huevos a 38 °C por dos días, la yema se aplanan de la misma forma que

si se tuviesen varios meses en refrigeración y manteniéndolos 4 días a 27 °C la albúmina densa disminuye tanto como si se tuvieran durante 10 días a 18 °C.

2.- La humedad además de influir en el aplanamiento de la yema, que es signo de su pérdida de calidad, tiene otro efecto muy importante: evitar en parte las pérdidas de peso que sufre todo huevo almacenado. Aunque resulta prácticamente imposible evitar completamente esta pérdida de peso del huevo ocasionada por la salida de anhídrido carbónico a través de los poros del cascarón mediante su conservación en un ambiente con una humedad relativa elevada se puede reducir en gran parte, con la gran repercusión económica que ello supone, por eso se recomienda en almacenamiento tener cuidado con los valores de la humedad dentro de la cámara si se mantiene el producto por estancias largas (Cuadro 1.10).

Cuadro 1.10 Humedades relativas máximas para que el huevo no produzca exudado (Benavent, 1996).

Temperatura exterior °C	Temperatura de los huevos en la cámara (°C)				
	7.5	10	12.5	15	17.5
	Humedad relativa dentro de la cámara				
18	47	58	69	84	---
21	38	48	58	68	84
24	32	40	49	57	67
27	26	33	41	47	55
30	21	27	34	39	45
33	17	22	27	32	37
36	14	18	22	26	30

Las temperaturas óptimas de almacenamiento refrigerado son las comprendidas ente los 10 y 15 °C, temperaturas más bajas conservarían mejora la calidad interna de los huevos, su conservación no solamente sería más costosa, sino que podría producirse una congelación accidental de la yema. En cuanto a la humedad relativa conviene que oscile el 70 y 80 %, siendo tanto más importante su control cuanto más tiempo se vayan a conservar (Benavent, 1996).

Para un período máximo de una semana de conservación el factor principal es la temperatura. El factor tiempo es de gran importancia, en cuanto mayor es el período de

conservación, aún en condiciones idóneas, tanto mayores serán las pérdidas de calidad y de peso de los huevos. Durante el almacenamiento, la transferencia de agua a través de la pared vitelina provoca también un descenso de viscosidad con un aumento en su fluidez, el comportamiento se aproxima entonces a uno newtoniano. La solubilidad de las proteínas permite una dispersión y una difusión rápida de éstas en las interfases aire/agua y aceite/agua, por ello se utilizan los huevos como sustancia emulsionante (yema) y espumante (clara) (Benavent, 1996).

1.2.4 Huevo en cocción

Los huevos pueden ser sometidos a distintos procesos de cocinado, presentando diferentes opciones a partir de la modificación que sufren sus componentes, siendo de mayor importancia las que se exponen a continuación:

Los huevos hervidos (pasado por agua, mollet, duro) se distinguen por el tiempo de cocción. Los huevos pasados por agua se hacen en 3 minutos en agua hirviendo, los Mollet, en 5 minutos y los huevos duros, en 12 minutos. El huevo pierde agua al cocerse, entre un 25 % (huevo pasado por agua), y un 50 % (huevo duro) aproximadamente. Las características particulares de estas preparaciones se deben a las diferencias en el punto de coagulación entre la clara y la yema: la clara se coagula a partir de los 57 °C, se solidifica a partir de los 70 °C, y la yema comienza a espesarse a los 65 °C y deja de ser fluida a partir de los 70 °C. La coagulación se debe a la desnaturalización (pérdida de la estructura tridimensional de las proteínas de la clara y la yema) debida al calor. Las albúminas se coagulan y se hacen más digestibles. Si la cocción es prolongada, el exceso de calor puede afectar a las vitaminas más termosensibles (Applegate, 2000; Coenders, 2001).

El huevo escalfado es el que se coagula sin cáscara en agua caliente y un producto ácido como el vinagre o el jugo de limón. Se dejan cocer tres minutos y luego se escurren. En el cual se da una desnaturalización de proteínas por la acidificación y aumento de temperatura (Applegate, 2000; Coenders, 2001).

En el huevo frito, en tortilla o revuelto disminuye la cantidad de agua por evaporación. Aumenta la grasa por incorporación del aceite utilizado al freír, lo que hace que el huevo frito sea más indigesto que hervido. Las albúminas coaguladas se mantienen casi en su totalidad, así como la mayor parte de las vitaminas (Applegate, 2000; Coenders, 2001).

Los huevos asados al horno pierden un 58 % de agua por evaporación. Los huevos al horno contienen menos proteínas, grasas y vitaminas que en las preparaciones anteriores (Applegate, 2000; Coenders, 2001).

1.2.5 Propiedades Funcionales

En las propiedades del huevo la complejidad de la composición y las características muy diferentes de las partes que lo componen (yema y clara) ofrecen múltiples posibilidades de utilización en función de las cualidades fisicoquímicas u organolépticas que se requieran para cada producto. Así, el huevo tiene capacidad espumante, emulsionante, espesante, aglutinante y colorante, entre otras. Por eso, además de los placeres gastronómicos que proporciona al consumirse en platos que lo emplean como único ingrediente (huevo frito, tortilla francesa, huevo cocido, escalfado, mollet, tibio), el huevo se hace imprescindible en multitud de formulaciones que requieren su presencia para aportar sus propiedades funcionales características (Fennema, 1982).

Las propiedades de la clara se emplean por su funcionalidad entre la que destaca la formación de espumas, la espuma es una dispersión concentrada gas-líquido (aire-clara); los polipéptidos se desnaturalizan y forman la interfase aire/líquido estable, propia de este estado de dispersión. Además la ovomucina, la lisozima G_1 y las ovoglobulinas G_2 y G_3 , que son glucoproteínas se ha reportado que tienen características de ser buenos agentes espumantes, también estas cuatro proteínas se consideran buenos agentes estabilizantes. La ovoalbúmina es la responsable de la cantidad de espuma producida, ésta y la ovomucina, pierden sus características cuando se contaminan con los lípidos de la yema; esto es porque las partes hidrofóbicas de estas proteínas sólo se orientan al aire en ausencia de grasas, a las que son más afines. La ovomacroglobulina, contribuye a las propiedades de espumado de la clara. Estas proteínas termo-coagulables previenen el desmoronamiento de la espuma

durante la cocción. Los daños térmicos a las proteínas ocasionan una reducción del espumando, sobre todo si se calientan a temperaturas superiores a 60 °C, pero la adición de ciertas sales y de sacarosa ejerce un efecto protector (reacciones de Maillard), al calentar la espuma el aire se expande y se coagula la proteína por tanto la estructura se mantiene, como en el merengue horneado. Los fenómenos de la agregación y la coagulación de estas proteínas se han estudiado ampliamente y se ha comprobado que la adición de sustancias que aumentan la viscosidad del medio líquido, la presencia de sustancias sólidas finamente pulverizadas y la temperatura, son factores que favorecen la formación de espumas y su estabilidad (Ould y Gunasekaran, 2002). Como anteriormente se dijo, la magnitud y tipo de cambios conformacionales varían de acuerdo a la proteína, se modifican las proporciones de hélices en la ovoalbúmina y se altera de manera importante la hidrofobicidad de la ovotransferrina, en tanto que la lisozima casi no se modifica, por efecto de la temperatura, alteración de pH y adición de azúcar (Lewis, 1993).

Algunos de los aminoácidos que conforman las proteínas son hidrofílicos mientras que otros son hidrofóbicos; en su estado natural, se acomodan de tal manera que las partes no afines al agua se colocan en el centro de forma muy apretada, mientras las que sí lo son se quedan en el exterior para asegurar que la proteína pueda ser soluble en agua. Al desnaturalizarse la proteína, pierde su forma original por el esfuerzo o procedimiento mecánico aplicado (batido), los grupos hidrofóbicos quedan expuestos y buscan la manera de alejarse del agua. Una manera de lograrlo es orientarse a la superficie y suspenderse en el aire. Al batir, las moléculas no afines al agua tienden a formar membranas delgadas con propiedades viscoelásticas que dan estabilidad a las burbujas (Stadelman y Cotterill, 1977).

La capacidad espumante de una solución ha sido medida en términos del volumen total de espuma producido, bajo condiciones de aireación constante o de agitación, o según la estabilidad de la espuma midiendo la cantidad de líquido drenado recolectada en un tiempo determinado (Damodaran y col., 2008).

Ésta capacidad en una proteína está relacionada con el área interfacial que puede ser creada por ella. El poder espumante del huevo se aprovecha en repostería para la elaboración de

merengues, mousses, claras a punto de nieve, bizcochos, pasteles, suflés, galletas y caramelos (Sim y col., 1994).

Se ha indicado que la clara líquida es responsable de la cantidad de espuma formada (volumen), mientras que la clara espesa mejora la estabilidad de la espuma. Con respecto a la composición, la cantidad de globulina es la que determina la cantidad de espuma y el contenido de ovomucina la estabilidad (Badui, 2006).

1.3 - ESPUMAS

1.3.1 Definición de una espuma

Desde el punto de vista fisicoquímico, las espumas son dispersiones coloidales de un gas o mezcla de gases suspendidos en una fase dispersante formada por un líquido viscoso o un semisólido. Las espumas son estructuras formadas por una red interconectada por enlaces sólidos que forman las caras o las aristas de las celdas, en el primer caso se habla de celdas cerradas, el segundo de celdas abiertas. Un aspecto importante en las espumas es su elevada relación superficie/volumen y la gran área de contacto entre las fases dispersa y dispersante; al hacerse una dispersión, hay un aumento drástico en la superficie total (Kramer y Szczesniak, 1973).

En un sistema bifásico como la espuma, las burbujas gaseosas, están separadas por películas delgadas del líquido, se describe como una dispersión grosera en la que las burbujas pueden ser bastante grandes, sin embargo la película que separa las burbujas puede ser de sólo algunos nanómetros de espesor (éste es demasiado pequeño para ser visto a simple vista) y la superficie del líquido resulta ampliada enormemente en oposición a las fuerzas de la tensión superficial. Este sistema es inestable y necesita la presencia de un agente estabilizante para su estabilidad (Damodaran y col., 2008).

Los puntos de unión de las burbujas que forman la espuma están formados por tres películas que forman ángulos de ciento veinte grados. El punto de unión se conoce como el borde de Plateau o triángulo de Gibbs. En la mayoría de las espumas alimenticias el gas es aire. El líquido rodea a las burbujas de aire y las separa una de otra, esta barrera o pared

líquida recibe el nombre de lamela, existe una gran área superficial en las burbujas de una espuma, lo que aumenta su energía libre de Gibbs. En la Figura 1.3 se puede observar nítidamente las paredes líquidas.



Figura 1.3 Vista microscópica de las paredes líquidas de espuma de clara de huevo batida (Cambón y col., 2004).

1.3.2 Espumas de proteínas

Las proteínas se desnaturalizan y cambian su estructura tridimensional, quedando la cadena polipeptídica, que constituye su estructura primaria, reducida a un polímero sin estructura tridimensional definida. La proteína en esas condiciones pierde su conformación espacial característica y con ella su función biológica, además de producirse una pérdida importante de su solubilidad, ya que los restos hidrofóbicos que se situaban hacia el interior de la estructura aparecen en la superficie (Phillips y col., 1994).

Las características inherentes de las moléculas de las proteínas influyen en la formación de las espumas a base de proteínas, así como las fuerzas interactivas que se desarrollan a partir de tales características moleculares (Cuadro 1.11) (Phillips y col., 1994).

Cuadro 1.11 Propiedades moleculares de la proteína en relación con espumas (Phillips y col., 1994).

Propiedades de la proteína	Propiedades en la interfase líquido - gas
Solubilidad Anfifílica	Dispersión rápida a la interfase Distribución de cargas polares y los residuos no polares, para mejorar las interacciones interfaciales
Flexibilidad segmentaria	Facilita el despliegue en la interfase
Interacción de segmentos secundarios	La disposición de los diferentes segmentos de la proteína con las interacciones en el aire, agua y fase interfacial
Disposición de los grupos cargados	Forma repulsión entre las burbujas por la carga que tienen al borde de la película
Distribución de grupos polares	Con la distribución de grupos polares se evita cerrar la orientación de las burbujas, la hidratación osmótica y los efectos estéricos afectados por las propiedades y la composición de las películas de proteínas

1.3.3 Formación de una espuma

La formación de la espuma es un proceso termodinámicamente adverso que requiere aporte energético en forma de energía mecánica suministrada por el batido. Al batir, las proteínas que se desnaturalizan no solo apresan y rodean las moléculas de agua de la clara, sino que además absorben grandes cantidades de aire. La primera condición para obtener una espuma es la presencia de moléculas tensoactivas en el medio para rebajar la tensión superficial, es decir la energía necesaria para la formación de la interfase líquido-gas. El aire se puede incorporar de dos formas diferentes, por agitación o por burbujeo, las cuales se describen a continuación (Phillips y col., 1994).

En la primera: el aire es inyectado directamente en el líquido, por medio de boquillas o bien por batido vigoroso del medio líquido que contiene el agente estabilizante con aspas o propelas adecuadas. En el método de condensación se utiliza aire presurizado que se disuelve en el líquido a espumar. Cuando la presión es liberada, el aire se expande y forma la espuma, parte del aire escapa. La crema batida en recipientes en aerosol se forma por este método.

En la segunda: se adiciona un agente espumante o tensoactivo, su función principal es disminuir la tensión superficial entre el aire y la lamela, las proteínas son buenos agentes espumantes en las espumas (espuma de proteínas). Al adicionar las proteínas a una espuma

se concentran en la interfase; la formación de espumas con proteínas implica un proceso de desnaturalización controlado, ya que la molécula debe desdoblarse para que oriente sus aminoácidos hidrófobos hacia el interior de la burbuja y los hidrófilos hacia el exterior, en contacto con la fase acuosa.

Debe haber una diferencia de tensión superficial entre la solución y la capa superficial; mientras más grande sea esta diferencia más consistencia y estabilidad tendrá la espuma. Una burbuja en el interior de un líquido tiende a subir, ya que la presión hidrostática va disminuyendo por lo que la burbuja tiende a expandirse a medida que se acerca a la superficie. El batido de la clara no solamente introduce aire en ella, sino que además produce un flujo en su matriz acuosa que arrastra a las macromoléculas proteínicas. Si este flujo es suficientemente fuerte, puede desenvolver algunos de las estructuras menos estables, obligándolos a perder su estructura original y a presentar al exterior las zonas hidrófobas (Unda, 2011).

1.3.4 Tipos de espumas

A continuación se describe la clasificación de las espumas por dos diferentes autores; primero por Roudot (2004) que define dos tipos de espumas:

a) Espumas diluidas. Consisten en burbujas casi esféricas separadas por películas más bien gruesas de un líquido algo viscoso. Estas son espumas que tienen grandes proporciones de materias intercelulares, y en las que las burbujas no están en contacto directo. En el caso de las espumas líquidas se habla de espuma húmeda.

b) Espumas concentradas. Compuestas de celdas poliédricas de gas separadas por películas finas. En este caso, las burbujas están en contacto unas con otras y se deforman bajo la acción del drenaje, para dar lugar a células poliédricas. En el campo de las bebidas se habla entonces de espuma seca.

La segunda definición de Coenders (2001), que define tres tipos de espumas con las siguientes características:

a) Espumas líquidas. En este tipo de espumas, el número de burbujas es pequeño y de tamaño variable, mientras que la cantidad del líquido de las paredes que las rodean es notoriamente visible como se muestra en la Figura 1.4; esta espuma es altamente fluida.

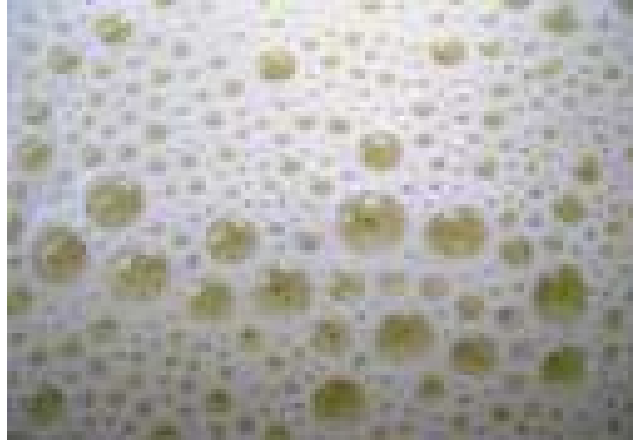


Figura 1.4 Espuma líquida (Cambón y col., 2004).

b) Espumas sólidas. Son aquellas que no fluyen por efecto de la gravedad, el número de burbujas ha aumentado en comparación de la espuma líquida y el volumen de las paredes que las rodean se ha adelgazado (Figura 1.5).



Figura 1.5 Espuma sólida (Cambón y col., 2004).

Se han hecho ensayos de tipo mecánico en espumas sólidas utilizando la compresión o su variante, en la Figura 1.6, se observa la comparación entre a) un mousse y b) un merengue

horneado; los mousses presentan curvas de compresión con tres zonas características, mientras que el merengue horneado no (Coenders, 2001):

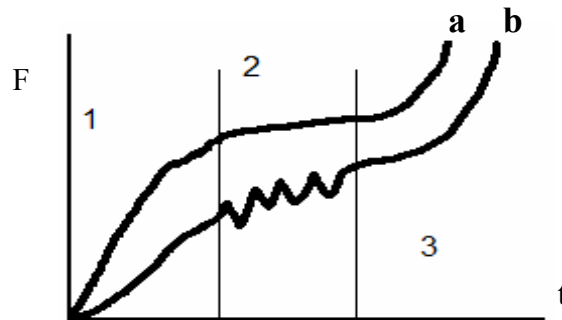


Figura 1.6 Curva de compresión de: a) mousse, b) merengue horneado (Coenders, 2001).

- La primera zona corresponde a una deformación elástica, debida a la flexión de las aristas de las células constitutivas y al hinchamiento de las paredes de estas mismas células.
- La segunda zona se presenta bajo la forma de una meseta, debida al hundimiento de la estructura. Este hundimiento depende de la ruptura de las aristas, de la plastificación de las flexiones previas o de la deformación de las células.
- La tercera zona representa una curva de gran pendiente correspondiente a la compresión de la estructura destruida, que se compacta, la estructura no existe ya.

En el caso de los mousses frágiles (cereales inflados, merengues horneados) la zona de la meseta está reemplazada por una zona en dientes de sierra. Se ha comprobado la correlación entre el análisis de frecuencias de esta zona y la apreciación organoléptica del carácter crujiente de tales productos.

c) Espumas emulsionadas. Las espumas de este tipo, tienen miles de burbujas de pequeño tamaño y las paredes entre estas son delgadas láminas. Entre las espumas emulsionadas se encuentran mas comúnmente las cremas batidas, o algunos pasteles, la estructura física de tales productos es particularmente compleja, puesto que coexisten numerosas fases así como distintas interfases (gas-líquido, gas-sólido, líquido-líquido) y estados físicos diferentes como cristalinos o amorfos (Figura 1.7) (Coenders, 2001).



Figura 1.7 Espuma emulsionada (Cambón y col., 2004).

1.3.5 Estabilidad de las espumas

Cuando aparece la espuma, se trata de mantenerla el mayor tiempo posible. La estabilidad de una espuma es baja y siempre tiende a desaparecer. Esta desestabilización se produce por drenaje del líquido intersticial por efecto de la gravedad, dado que las burbujas se encuentran en la proximidad inmediata unas de otras, las paredes gas-líquido se reducen para transformarse en películas líquidas que separan dos zonas gaseosas. Se establece entonces una difusión gaseosa entre las burbujas que conduce a la desaparición de las pequeñas burbujas en beneficio de las grandes, asociada al adelgazamiento de las paredes que acaban por estallar (Coenders, 2001).

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 espuma varía en tamaño desde $1\ \mu\text{m}$ hasta varios centímetros. La espuma tiende a ser inestable por razones termodinámicas, pues pasa a un estado de menor energía libre de Gibbs. Para una estabilidad en las espumas, es necesario que el tamaño de las lamelas esté en el intervalo de 0.2 a $1\ \mu\text{m}$; cuando la lamela es menor a $0.05\ \mu\text{m}$, el sistema se vuelve muy inestable debido a que existe una difusión de gas a través de las paredes de las burbujas, lo que ocasiona su ruptura. Las lamelas además deben de presentar una rigidez y elasticidad adecuada para no fracturarse al colisionar entre sí. Según el tamaño de las burbujas y del espesor de la lamela, una espuma tendrá casi la consistencia de la fase dispersante o será

tan ligera como la fase gaseosa dispersa. Las burbujas reflejan la luz, lo que le da una apariencia opaca a la espuma (Coenders, 2001).

La estabilidad de la espuma depende de varios factores, ésta mejora si se aumenta la viscosidad de la fase continua con pequeñas cantidades de gomas y de proteínas, también se emplean el glicerol y sus derivados, así como varios alcoholes, azúcares y colorantes que imparten además un determinado sabor y dan una mejor imagen a estos productos. En el Cuadro 1.12 se presenta la comparación entre la estabilidad y cuando se presenta una inestabilidad de la misma (Phillips y col., 1994).

La estabilidad de la espuma mediante la retención de volumen de aire y agua, es un reflejo de la integridad de la película, impermeabilidad a gases y la fuerza viscoelástica y mecánica de la película (Phillips y col., 1994).

Cuadro 1.12 Factores que favorecen o afectan la estabilidad de una espuma de proteína (Phillips y col., 1994).

Estable	Inestable
Dominios flexibles de la proteína aumentan la viscosidad de la fase acuosa	Drenaje (gravitacional)
Concentración de proteínas y espesor de película	Desproporción
Película con resistencia mecánica y superficie viscoelástica	Golpe mecánico
Efectos de Gibbs y Marangoni	Presión capilar
Película con carga de superficie neta	Película permeable
Proteínas heterogéneas, con estructura terciaria residual	Superficie activa para lípidos

1.3.6 Factores que determinan la capacidad espumante y estabilidad de las espumas de proteína

Una vez que la espuma se forma, súbitamente ésta sufre una degradación más o menos lenta, a una escala de tiempo de algunos minutos a algunas horas, en su transcurso entran en juego diferentes mecanismos: (a) la segregación y el drenaje gravitacional, (b) la succión capilar y (c) la difusión gaseosa intraburbuja. La concentración de surfactante adsorbido (denominado adsorción Γ en moléculas por unidad de superficie) tiende a disminuir en la zona estirada donde la película es más delgada que en las zonas vecinas. La tensión superficial aumenta según la relación que permite calcular la elasticidad de Gibbs ϵ , (d) El

mecanismo Gibbs-Marangoni es por tanto el fenómeno sobre el que reposa la existencia misma de la espuma (Salager y col., 1999).

a) Segregación de burbujas y drenaje gravitacional del líquido

Durante los primeros instantes se produce una segregación gravitacional de las burbujas debido al empuje de Arquímedes que es más fuerte sobre las burbujas grandes que sobre las pequeñas como se muestra en la siguiente Figura 1.8 (a). El rearrreglo relativo de las burbujas no se puede hacer fácilmente hasta que la espuma contenga una proporción volumétrica de líquido mínimo en el orden del 15 - 20 %. Por tanto, esto no se produce en los primeros momentos. El drenaje gravitacional del líquido hacia abajo se produce durante toda la vida de la espuma, pero es evidente que es más importante en la espuma húmeda como se muestra en la Figura 1.8 (b) (Salager y col., 1999).

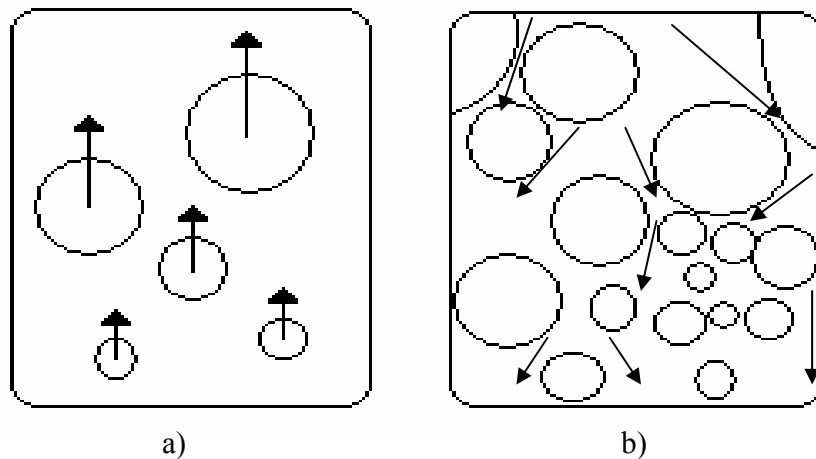


Figura 1.8 (a) Segregación de las burbujas y (b) drenaje del líquido en la espuma húmeda (Salager y col., 1999).

b) Succión capilar

La proporción de líquido presente en la espuma disminuye rápidamente debido al drenaje del mismo hacia abajo, antes que nada por simple acción de la gravedad sobre el líquido que se encuentra en las burbujas, luego por fenómenos más complejos cuando las burbujas pierden su forma esférica para obtener forma poliédrica. En este momento el contenido de líquido no excede al 10 % y continua disminuyendo, ya que la diferencia de curvatura entre los bordes de Plateau (Figura 1.9) y la parte plana de las películas según la ley de Laplace producen un gradiente de presión. Esta es la fuerza motriz que desplaza el líquido del

centro de las películas hacia los bordes de Plateau, gracias a un mecanismo llamado succión capilar. Este líquido es seguidamente drenado por la gravedad hacia la parte inferior de la espuma en los bordes de Plateau (Salager y col., 1999).

La espuma puede entonces comenzar a degradarse por ruptura de las películas relativamente delgadas (algunos micrómetros o un espesor menor), en particular si las condiciones favorables al efecto Gibbs-Marangoni no son satisfechas, o si no existen mecanismos de estabilización de perturbaciones de la película intraburbuja. De todas maneras, la ruptura de las películas no se producen necesariamente durante esta segunda etapa y la espuma puede persistir y continuar su evolución lentamente.

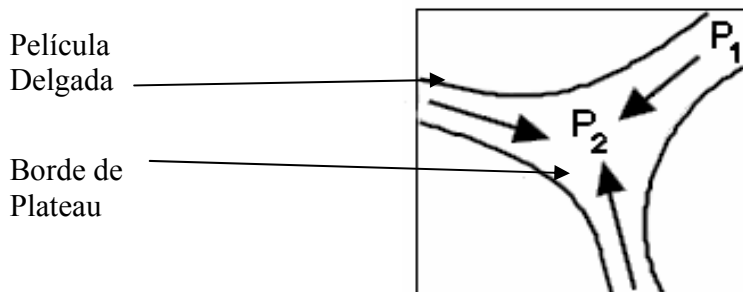


Figura 1.9 Succión capilar del líquido del centro de la película hasta los bordes de Plateau (Salager y col., 1999).

c) Difusión gaseosa intraburbuja

Cuando las burbujas son poliédricas, las películas intraburbujas se comportan como películas planas de poco espesor, pero a causa de la ley de Laplace la presión es mayor en las burbujas pequeñas que en las grandes. En consecuencia, existe por lo general un gradiente de presión de una parte y de la otra de una película, que induce una difusión gaseosa a través de esta película, como se observa en la Figura 1.10 (Salager y col., 1999).

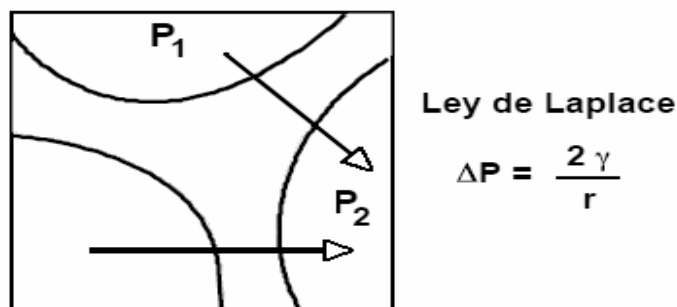


Figura 1.10 Difusión gaseosa intraburbuja (Salager y col., 1999).

El fenómeno llamado maduración de Ostwald, hace que las pequeñas burbujas se desinflen lentamente en las grandes y desaparezcan. Éste domina la evolución de las espumas a escala de tiempos intermedios (de algunos minutos a algunas horas). En otros términos, el número de burbujas disminuyen y las burbujas se van haciendo grandes poco a poco sin que sea necesario que las películas se rompan (lo que se puede producir, sin embargo, al mismo tiempo). En este caso, la disminución del diámetro de una burbuja (que se desinfla en sus vecinas más grandes) produce el aumento de la adsorción (ya que las moléculas adsorbidas son prácticamente insolubles y el valor de la elasticidad ϵ es muy elevada). En consecuencia, se produce una reducción de tensión suficiente para compensar la diferencia de presión debida a la ley de Laplace (Salager y col., 1999).

La Figura 1.11 indica la evolución típica de una espuma por maduración de Ostwald. Este fenómeno es a menudo importante en la práctica. Puede ser inhibido por la presencia de una capa adsorbida insoluble como la que forman las proteínas en la clara de huevo batidas a punto de nieve en la preparación de merengues (Salager y col., 1999).

Otra medida para bloquear la difusión intraburbuja es recubrir toda la superficie de partículas sólidas minúsculas (insolubles en el líquido) por ejemplo, los glóbulos de grasa de la leche en la crema batida llamada Chantilly (Salager y col., 1999).

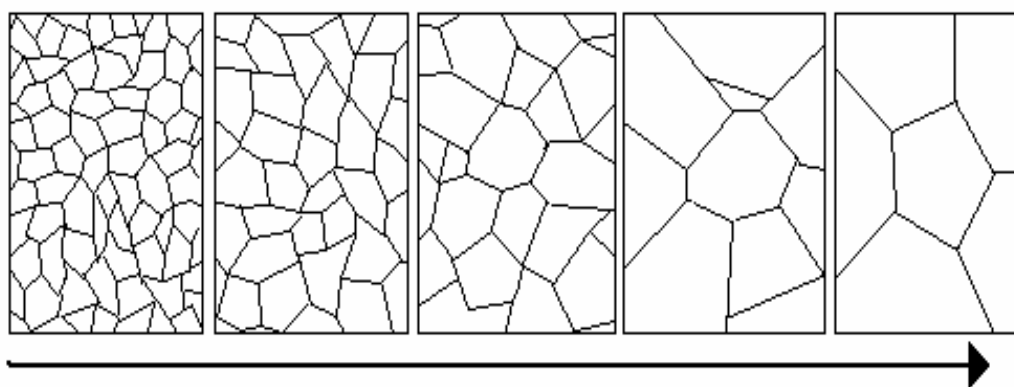


Figura 1.11 Evolución de una espuma por difusión gaseosa intraburbuja (Salager y col., 1999).

d) Efecto Marangoni

A través del tiempo se va produciendo el efecto Marangoni, conforme la película se estira se producirá una correspondiente disminución de la concentración en exceso del agente espumante, y luego un aumento local en la tensión superficial; esto puede persistir lo bastante para permitir que la película recupere su espesor inicial. Es aquí donde el tensoactivo juega un papel determinante en lo que se conoce como efecto Gibbs-Marangoni. Cuando una película gruesa se forma entre dos burbujas y las burbujas se acercan, a menudo éstas se aplastan; la película está expuesta a un esfuerzo de estiramiento frecuentemente complejo, en el que el área superficial gas-líquido aumenta rápidamente (Dickinson, 1987; Wilson 1989).

1.3.7 Propiedades de las espumas

Las peculiares propiedades físico-químicas de las espumas las convierten en elementos de alto interés gastronómico. A continuación se resumen las propiedades de acuerdo a lo reportado por Cambón y col. (2004).

a) Baja densidad

Como ejemplo basta destacar que al batir clara de huevo su volumen se cuadruplica por incorporación de aire lo que supone una reducción proporcional de la densidad. Se utilizan para el procesamiento una gran variedad de mezclas complejas que físicamente son suspensiones, emulsiones o geles y que tienden a ser excesivamente densas y nutritivas. Si estas preparaciones se espuman, se hacen ligeras y se favorece su digestión sin que se pierda nada de su sabor. Purés vegetales, mousses dulces o las espumas de gelatina son algunos ejemplos.

b) Elevada viscosidad

Una de las propiedades más sorprendentes de una mezcla de líquido y gas, como es la espuma, es que se comporte casi como un sólido. La viscosidad de las soluciones de base acuosa se explica por la interacción con las moléculas de agua o entre ellas mismas de las moléculas de soluto o de las partículas dispersas en el agua (microgotitas, pequeñas partículas sólidas o macromoléculas). En el caso de la espuma la causa es más bien

geométrica: las burbujas tienden a mantener la mínima superficie posible y cuando entran en contacto se acoplan constituyendo una red de caras planas. Cualquier flujo supone una reordenación de burbujas y un aumento de la superficie de contacto aunque sea temporal. Este fenómeno es el que dificulta el flujo. Como consecuencia, cuanto más delgadas sean las películas de matriz que separan las burbujas y cuantas más pequeñas sean éstas, más viscoelástica es la espuma. Está demostrado que la percepción de sabores de los alimentos se relaciona estrechamente con la textura que ofrecen en boca. La elevada consistencia de la espuma permite esa sensación de ligera y deliciosa textura cremosa que tienen la crema batida, la espuma del café expresso o la parte superior de una cerveza bien servida.

c) Retención de sustancias sápidas

El sabor de los alimentos es una sensación compleja, no solamente cuentan las sustancias hidrosolubles que se incorporan a la saliva y llegan hasta las papilas gustativas. Al romperse el alimento en la cavidad bucal son liberadas multitud de moléculas volátiles y generalmente liposolubles que llegan hasta la pituitaria olfativa a través de las coanas y que son responsables de multitud de matices. Estas moléculas, por ser poco solubles en agua y bastante volátiles tienden a escapar del producto extendiendo un sugerente aroma por la cocina. En las espumas, muchas de estas moléculas quedan atrapadas en el gas de las burbujas y se liberan en el momento adecuado, cuando la espuma se introduce en la boca.

d) Baja conductividad térmica

Como material de construcción o de embalaje es frecuente utilizar espumas sólidas por su gran capacidad aislante. Retienen el calor de una habitación en invierno o impiden que entre en ella en verano; evitan que se enfríen alimentos calientes o que se calienten los congelados. Esta propiedad se puede utilizar para preparar platos sorprendentes como el Baked Alaska, una bola de helado envuelta en merengue caliente. En un contexto más habitual, la capa de espuma de leche hace que un capuchino tarde más en enfriarse que un café con leche normal o que una cerveza servida en jarra de barro tarde más en calentarse si la cabeza de espuma está bien desarrollada.

e) Baja estabilidad de las espumas de bebidas carbónicas

En la cava de cerveza y en los refrescos carbonatados aparecen espumas bastante inestables que se basan en el contenido de CO₂, estas espumas contribuyen de manera notable a desarrollar el chispeante tacto en la boca y la sensación gustativa de este tipo de bebidas.

f) Baja resistencia mecánica

En la cocina es frecuente calentar masas para solidificarlas. El almidón presente en las masas de pan, de tartas, de bizcochos o de magdalenas al alcanzar los 60 °C se gelatiniza y los gránulos de almidón se desorganizan liberando moléculas de amilopectina y absorbiendo agua. Al enfriarse la masa horneada casi toda el agua presente ha desaparecido, evaporada o absorbida por el almidón, y las moléculas de amilopectina se han reorganizado formando una red que atrapa el conjunto. Si estas masas no se espuman debidamente antes de hornearlas pierden la suavidad y fácil masticación, por lo que pueden resultar incomedibles.

g) Capilaridad de las esponjas

Cuando se solidifica la matriz de la espuma y las burbujas se intercomunican; la espuma se ha transformado en una esponja. Ésta mantiene todas las propiedades de una espuma con la única diferencia de que ahora no es viscosa, sino que simplemente no fluye. Pero además ha adquirido la propiedad de absorber y retener líquidos entre sus cavidades por capilaridad.

1.3.8 Factores que afectan a la espuma de clara de huevo, su durabilidad y estabilidad

El volumen y estabilidad de las espumas de clara de huevo dependen de la temperatura del huevo y de otras sustancias añadidas. Cuando se mantiene en reposo, se vuelve rígida y frágil. La formación de espuma de clara de huevo, como cualquier otro proceso físico-químico está muy influenciada por las condiciones del medio entre estos aspectos son destacables los siguientes (Vaclavik y Chistian, 2002; Cambón y col., 2004):

- La temperatura tiene una doble influencia, por un lado la clara a temperatura ambiente espuma mucho mejor que la recién sacada del refrigerador, ya que la baja

temperatura dificulta la desnaturalización de las proteínas que deben actuar como surfactantes. La clara y la yema de los huevos sacados del refrigerador, tienden a separarse con mucha mayor facilidad, sin dejar rastros de esta última recordando que al encontrarse mínimamente presente en la clara, reduce drásticamente el volumen y la estabilidad de la espuma obtenida. La espuma fría drena más despacio y es más estable. A temperatura ambiente los huevos tienen menor tensión superficial y se baten más fácilmente.

- El pH original de la clara de huevo es ligeramente alcalino, esto facilita la formación de enlaces disulfuro por unión de grupos sulfuro de diferentes moléculas proteínicas, reforzando la red de la espuma. Los puentes disulfuro son los más estables de los enlaces que mantienen la estructura globular, el efecto no se ve modificado en las primeras etapas de la formación de la espuma, pero en caso de sobreatado este tipo de enlaces son los principales responsables de la excesiva rigidez de la espuma y de la aparición de grumos. Al batir las claras con medios mecánicos, es conveniente acidificar ligeramente la clara, lo que permite que los grupos sulfuro se saturen con los protones tomando la forma de $-SH$, en vez de formar puentes disulfuro. Se obtiene menor volumen, pero mayor estabilidad debido a la coagulación por enlaces intramoleculares.
- Al adicionar cloruro de sodio (sal), los iones formados por su disociación al disolverse en la matriz acuosa bloquean la formación de enlaces intermoleculares, aún a una baja concentración, e impiden así la consolidación de la red proteínica. Como consecuencia al retrasar la formación de espuma, se obtiene una espuma con menos volumen y estabilidad.
- El azúcar añadido a la clara tiene un doble efecto; si se añade al principio dificulta la formación de espuma bloqueando la unión de enlaces intermoleculares dando una espuma con menos volumen y de textura delicada; sin embargo, añadiéndola cuando la espuma ya está levantada impide la aparición de excesiva rigidez en la espuma y

aparición de grumos. Al espesar la matriz acuosa se retrasa el drenaje de líquido contribuyendo a la desnaturalización.

- La presencia de grasas, lípidos polares y detergentes son los principales enemigos de la espuma de clara, no solamente al competir por la proteína surfactante en la interfase sino que bloquean la formación de enlaces entre proteínas debilitando la red que estabiliza la espuma.
- La adición de líquido diluye la clara de huevo. El líquido aumentará el volumen de una espuma, sin embargo aumenta la probabilidad de sinéresis. La clara de huevo desecado que se ha reconstituido requiere un tiempo de batido más largo que las claras de huevo fresco, debido a la ruptura de algunas proteínas durante el proceso de secado.
- Los huevos al envejecer sufren un proceso de alcalinización debido a la pérdida progresiva del CO₂ disuelto en la matriz acuosa a través de los poros de la cáscara. La clara puede pasar de un pH 7.5 hasta uno de más de 9. Las consecuencias de este proceso sobre las interacciones entre las moléculas proteínicas es muy notable: comienzan a deshacerse los agregados que mantenían la clara translúcida y viscosa y las proteínas se repelen volviéndose más transparente y fluida. Los cambios de acidez en la yema son poco importantes, pero se da un proceso de ósmosis con paso de agua desde la clara, menos concentrada. La yema aumenta su volumen y esto tensa su membrana y la debilita facilitando que se rompa. Estos cambios motivados por el envejecimiento del huevo tienen consecuencias directas sobre su espumabilidad. Aunque al tener más tiempo el huevo las proteínas se desnaturalizan mejor y la clara se monta más fácilmente; por otro lado, la pérdida de viscosidad favorece el drenaje y la espuma tiene menos firmeza y menor estabilidad.

Se describen en el Cuadro 1.13 las diferentes etapas que pasa la clara de huevo desde que empieza el batido hasta la formación de la espuma, sus cambios ópticos, texturales y reológicos. La estabilidad de la espuma en el caso de la clara de huevo, con un

calentamiento gradual hasta alcanzar una temperatura elevada puede estabilizar la espuma, ya que entonces la proteína coagula en forma de película, con lo que se establece una lamela más resistente, casi sólida como en los merengues (Phillips y col., 1994).

Cuadro 1.13 Etapas del batido de la clara de huevo (Vaclavik y Christian, 2002).

Etapa	Descripción
Clara de huevo no batida	Pequeño volumen de clara densa o fluida Sin aditivo inicialmente
Espuma	Inestable, grandes burbujas de aire, transparente Las burbujas coalescen si se interrumpe el batido El ácido coagula la proteína alrededor de las burbujas de aire Se añade crémor tártaro (ácido)
Picos redondeados blandos	Las burbujas de aire se subdividen y son más blancas El líquido alrededor de cada burbuja se hace más fluido Aumenta el volumen Momento preciso para añadir el azúcar Se puede usar para aplicaciones en los alimentos Se usa para merengue blando
Picos puntiagudos rígidos	Muchas burbujas de aire pequeñas, aumenta el volumen La proteína coagula alrededor de las burbujas de aire Preparada para las aplicaciones en los alimentos Se usa para merengue duro
Espuma de picos secos	Frágil e inelástica Menos volumen al romperse las burbujas de aire Desnaturalizada, se pierde agua, “floculada” No tan efectiva como agente esponjante Sobrecoagulada, apariencia cuajada

CAPITULO 2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

2.1 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Establecer el efecto de dos condiciones de almacenamiento (22 °C y 4 °C) sobre la capacidad espumante de la clara de huevo de gallina, por medio de sus propiedades para preveer su vida útil como agente espumante.

OBJETIVO PARTICULAR 1

Evaluar la variación de pH y densidad relativa en la clara de huevo a dos temperaturas de almacenamiento (22 °C y 4 °C).

OBJETIVO PARTICULAR 2

Medir la capacidad espumante, mediante la estabilidad de la espuma por transmisión-retrodispersión de luz, velocidad de drenado en copas graduadas y la densidad en función del tiempo de almacenamiento (38 días) a dos temperaturas (22 °C y 4 °C).

OBJETIVO PARTICULAR 3

Determinar la consistencia de la espuma a través de una prueba de penetración retirada, en función del tiempo de almacenamiento del huevo (38 días) a dos temperaturas (22 °C y 4 °C).

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo general y los objetivos particulares, el desarrollo del proyecto se realizó en tres etapas:

Primera etapa. Se seleccionaron las variables independientes del estudio, temperatura ambiente (22 °C), temperatura de refrigeración (4 °C) y tiempo de ovoposición (días después de la puesta) en el almacenamiento (38 días), así como las variables dependientes o propiedades a evaluar: pH y densidad relativa de la clara de huevo, la estabilidad de la espuma (a través de su densidad, transmisión-retrodispersión de luz en la espuma y

velocidad de drenado en copas graduadas), así como la consistencia de la espuma (por su textura a través de la dureza, trabajo de penetración, fuerza adhesiva, adhesividad y estiramiento).

Segunda etapa. Se realizó el seguimiento durante 38 días de almacenamiento a dos temperaturas (22 °C y 4 °C), determinando la densidad relativa en la clara líquida y en la espuma de la clara, por triplicado. La consistencia de la espuma se realizó en cinco muestras de la misma espuma. La estabilidad se determinó en cuatro copas graduadas y se midió el volumen de drenado y a través de éste se hizo el cálculo de la velocidad de drenado. La estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz a través de la espuma se realizó en una sola repetición determinando el espesor de líquido drenado y con éste su respectiva velocidad.

Tercera etapa. Se realizaron los análisis estadísticos, como fue promedio, desviación estándar y porcentaje de coeficiente de variación de las réplicas de estudio, con el programa Excel (Pérez, 2002) para cada una de las diferentes propiedades medidas, así como los análisis de varianza (ANOVA) de dos vías ($\alpha = 0.05$), utilizando el software Minitab 14^{MR} (Grima y col., 2004), con la finalidad de obtener diferencias significativas de los resultados, en las dos temperaturas de estudio (22 °C y 4 °C) y a los 38 días de ovoposición en el almacenamiento.

Se partió de una población de 420 huevos frescos de gallina (Avicultores Unidos de Atizapán de Zaragoza, Edo. de México), siendo éstos de un sólo lote de gallinas, con tres días de ovoposición del cual se separó en dos lotes, 190 huevos para su almacenamiento a temperatura ambiente y 230 huevos para su almacenamiento a temperatura de refrigeración. Cada uno de ellos se dividió en 15 lotes, los que fueron analizados cada tercer día durante 38 días, como se muestra en el Cuadro 2.1.

El almacenamiento a temperatura ambiente, fue controlado en el laboratorio con un aire acondicionado (York, modelo YSUSC25-6R, 2 Ton 24000 BTIS, EUA); la temperatura se mantuvo a 22 ± 2 °C. El almacenamiento a temperatura de refrigeración, se realizó en un

refrigerador doméstico (Philips, Astrol S.A. modelo 4107, serie 3140053, México), manteniéndose a 4 ± 2 °C. El almacenaje se hizo en charolas de cartón para huevo protegido con el cascarón para evitar la contaminación en ambas temperaturas, protegiendo así de una posible adulteración por obtención de humedad o evaporación.

Cuadro 2.1 Calendario de experimentación.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
*Día 6 / Lote 1		Día 8 / Lote 2		Día 10 / Lote 3
Día 13 / Lote 4		Día 15 / Lote 5		Día 17 / Lote 6
Día 20 / Lote 7		Día 22 / Lote 8		Día 24 / Lote 9
Día 27 / Lote 10		Día 29 / Lote 11		Día 31 / Lote 12
Día 34 / Lote 13		Día 36 / Lote 14		Día 38 / Lote 15

* = días de ovoposición (tiempo que ha transcurrido desde la puesta del huevo).

El seguimiento se realizó durante 38 días de almacenamiento, límite de caducidad para los huevos almacenados a temperatura ambiente, ya que en los siguientes días ya mostraban signos de putrefacción. Sin embargo, en los refrigerados se siguieron realizando las pruebas hasta el día 52 de ovoposición, resultados que se muestran únicamente como referencia, ya que no se consideraron para el análisis estadístico.

La temperatura y la humedad relativa se midieron con el termómetro digital (Taytek, minitemp, China) y con un higrómetro de carátula (Richard Pekly, EUA) y un higrómetro de bulbo seco (Taylor, China), estos dos últimos dentro del refrigerador. El contenido de vapor de agua en el aire es un parámetro importante en muchos de los procesos. Se tomaron en cada uno de los días de experimentación datos de la humedad relativa, ya que puede haber transferencia de humedad del ambiente al huevo o del huevo al ambiente, estos datos dieron un valor promedio de 26 ± 2 %.

2.2.1 Métodos para la clara

Obtención de la clara líquida

Se separaron alrededor de 8 huevos, obteniendo 250 ml de clara aproximadamente, que se colocaron en un vaso de precipitado de 500 ml, para cada temperatura tanto ambiente como en refrigeración, siendo estos últimos atemperados, para su utilización en el texturómetro y el turbiscan. Cabe señalar que entre más tiempo de almacenamiento a temperatura

ambiente, se utilizaron más huevos para conseguir los 250 ml necesarios para obtener el volumen de espuma requerido para todas las pruebas de la experimentación, llegando a utilizar hasta 12 huevos, tal como se especifica en el Cuadro 2.2.

Cuadro 2.2 Número de piezas de huevo utilizadas en el tiempo de experimentación.

*Día	piezas a T A	piezas a T R	huevos desechados		Observaciones
			T A	T R	
3	5	-	-	-	Sólo experimentación a temperatura ambiente
□6	6	4	-	-	
□8	6	8	-	-	
□10	9	6	-	-	
□13	8	6	-	-	
□15	7	7	-	-	
□17	14	9	3	3	De color amarillo/fosforescente a T A 3 mezclados la clara y yema a T R
□20	10	9	3	3	1 amarillo/fosforescente y 2 podridos a T A 1 podrido y 2 mezclados la clara y yema a T R
□22	9	8	-	-	
□24	8	8	1	-	1 podrido a T A
□27	8	8	-	-	
□29	10	8	1	-	1 podrido a T A
□31	11	8	1	-	
□34	8	8	1	-	1 podrido a T A
□36	12	8	2	1	2 mezclados la clara y yema a T A 1 podrido a T R
□38	14	8	4	1	2 podridos, 1 pegado la yema al cascarón, 1 fosforescente a T A y 1 fosforescente a T R
43	-	8	-	-	Sólo experimentación a temperatura de refrigeración los
45	-	8	-	-	siguientes días ya que desde el día 38 en adelante se
48	-	8	-	1	encontró presencia de microorganismos en todas las
50	-	9	-	1	piezas restantes a temperatura ambiente (45 piezas)
52	-	9	-	1	
Total	145	155	16	11	Quedaron aún 75 piezas a temperatura de refrigeración.

* Día = días de ovoposición (tiempo que ha transcurrido desde la puesta del huevo).

□ Días que se tomaron en consideración para la experimentación, resultados y conclusiones.

La separación de la clara y la yema se realizó por medio de un separador de yemas (Figura 2.1), las yemas se congelaron en recipientes de un litro; después la clara obtenida se pasó por un colador para la separación de la clara líquida de la clara espesa (esto se realizó puesto que ésta no pasa por el tubo capilar del densímetro por su alta viscosidad), la clara líquida se recolectó en un vaso de precipitado de 400 ml; de la cual se tomó una alícuota para la prueba de densidad de la clara (10 ml), del resto se tomaron 3 alícuotas (20 ml) para la medición de pH, se tapó con película plástica, para evitar evaporación en dichas muestras

para pH y densidad, puesto que estas pruebas se realizaron una vez terminadas las pruebas con la espuma de clara.



Figura 2.1 Separación de la yema de huevo.

Las pruebas realizadas fueron:

- **Densidad relativa de la clara**

Materiales

Vaso de precipitado 50 ml, pipeta 10 ml y agua destilada.

Instrumento: Densímetro DA-110M, Mettler Toledo, KEM, Japón Termómetro digital Taytek, minitemp, China.

Método

La densidad relativa de la clara se evaluó con un densímetro, se llenó por completo el tubo capilar con la clara líquida y se hizo pasar la muestra por el tubo de caucho fluorado del instrumento, no sin antes calibrarlo con agua destilada, de este instrumento se obtiene los datos directos.

El punto importante en la medición de ésta, es la variación que se logra entre ambas temperaturas puesto que pudo darse pérdida de humedad al estar a temperatura ambiente o ganancia de humedad a temperatura de refrigeración. El densímetro marca la temperatura de la muestra estudiada, la cual osciló en los 22 ± 1 °C.

- **pH de la clara**

Materiales

Solución buffer pH 10, pipeta 10 ml, 3 vasos de precipitado de 50 ml película plástica para cubrir alimentos.

Instrumento: Potenciómetro (pH Testr 3 Double Junction, OAKTON Waterproof, China).

Método

El pH se evaluó por medio de un potenciómetro obteniendo así datos directos al igual que en la densidad relativa, se calibra con su inserción a una solución amortiguadora o buffer de pH conocido en este caso con un pH de 10 y se ajusta la salida del medidor para una lectura apropiada, se hace pasar el electrodo por las tres muestras de clara líquida de cada día de experimentación.

2.2.3 Métodos para la espuma de la clara

Preparación de la espuma

El sobrante tanto de la clara líquida como la clara densa se juntó y se dividió en dos, ambos se batieron para las diferentes pruebas:

- a) 65 a 70* ml que se batieron para las pruebas de consistencia, densidad y estabilidad.
- b) 135 a 150* ml que se batieron para la prueba de líquido drenado.

* La variabilidad de ml se debió al uso de un noveno huevo o más, al encontrar piezas podridas o en mal estado al paso de los días de ovoposición.

La espuma se obtuvo con una batidora (Kitchen Aid, K5SS EUA), con un batidor de alambre tipo globo modelo K5AWW y se midió el tiempo de batido con un cronómetro; el batido se realizó en un total de 8 minutos a tres diferentes velocidades de la siguiente manera:

- a) 5 minutos a velocidad 6
- b) 2 minutos a velocidad 8
- c) 1 minuto a velocidad 10

El procedimiento anterior fue seleccionado ya que a una sola velocidad no se lograba la estabilidad deseada que era la coexistencia de picos puntiagudos rígidos de la espuma con

burbujas muy pequeñas (Vaclavik y Chistian., 2002). Las yemas de los huevos utilizados se congelaron y los cascarones se desecharon en bolsas de plástico.

Las pruebas realizadas fueron:

- **Densidad de la espuma**

Materiales

Espátula, 5 cajas Petri (5 cm x 1.5 cm), Vernier.

Instrumento: Balanza OHAUS TP400D, EQUIPAR S. A. de C. V., EUA.

Método

En los productos aireados por la inclusión de aire hay una reducción de la densidad en la espuma. De las cajas Petri se obtuvo su volumen con la siguiente fórmula: ($\pi r^2 h$) con ayuda de un Vernier se tomó la altura y el diámetro interno. Las cajas se llenaron al ras con la espuma por medio de una espátula tratando de no aplastar la espuma en el proceso, se pesaron y con los datos obtenidos se utilizó la siguiente relación obteniendo los datos de la densidad:

$$\rho = m / v$$

ρ = densidad (g/cm³)

m = masa: peso de cada caja con muestra menos la caja sin muestra (g)

v = volumen: volumen de la muestra (cm³)

- **Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz en la espuma**

Materiales

Celda de medición cilíndrica de vidrio de borosilicato, abierto de ambos lados con tapón falso inferior y tapón de rosca superior hermético.

Instrumento: Analizador macroscópico de barrido vertical “Turbiscan” (MA2000 DEMO FT MA2000, Formulation, Francia).

Método

La estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz, se determina a través de la falta de transparencia en una celda de medición con la muestra (espuma 70 mm). El turbidímetro cuenta con un cabezal de lectura móvil con la incidencia múltiple de luz infrarroja con una longitud de onda de 880 nm, y dos detectores de luz a) transmisión y b) retrodispersión. El cabezal móvil recorre la altura de la muestra y proporciona curvas de transmisión y retrodispersión en función de la altura de la muestra. A partir de estas curvas se identifican

los fenómenos de drenado de líquido por medio de picos de transmisión en la parte baja del tubo. Esta prueba se realizó con escaneos cada 3 minutos, durante 1 hora en los 38 días de experimentación.

- **Estabilidad por velocidad de drenado de la espuma en copas graduadas**

Materiales

4 copas graduadas de (150 ml x 10 ml), espátula y cronómetro.

Método

Las copas graduadas están formadas por un vaso de precipitado de 150 ml y una probeta de 10 ml, la cual va unida en la base del vaso (Figura 2.2). Se batió la clara de huevo como anteriormente se describió, al terminar el batido se comenzó a tomar el tiempo de esta prueba para obtener un tiempo total. Se colocó la espuma en cada una de las copas al ras de estas mediante una espátula, tratando de no aplastarla, ni presionarla, para evitar rompimiento de burbujas y formación de líquido en el fondo de la probeta (Figura 2.3 a); tomando como tiempo uno cuando la primer copa quedó llena con la espuma y tiempos subsecuentes cada 5 minutos, en los cuales se tomaron datos de cuantos mililitros recolectados hubo en cada probeta hasta llegar a los 10 ml de líquido drenado en las cuatro copas (Figura 2.3 b).

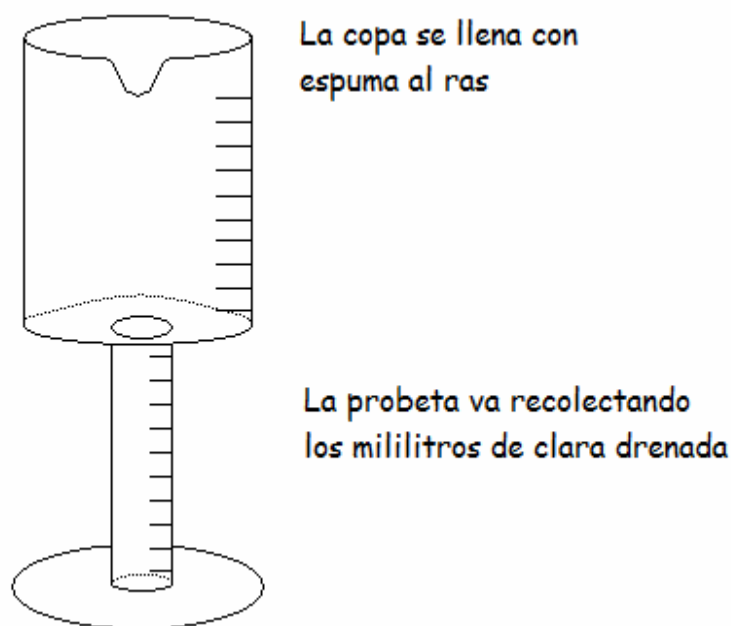


Figura 2.2 Copa graduada.

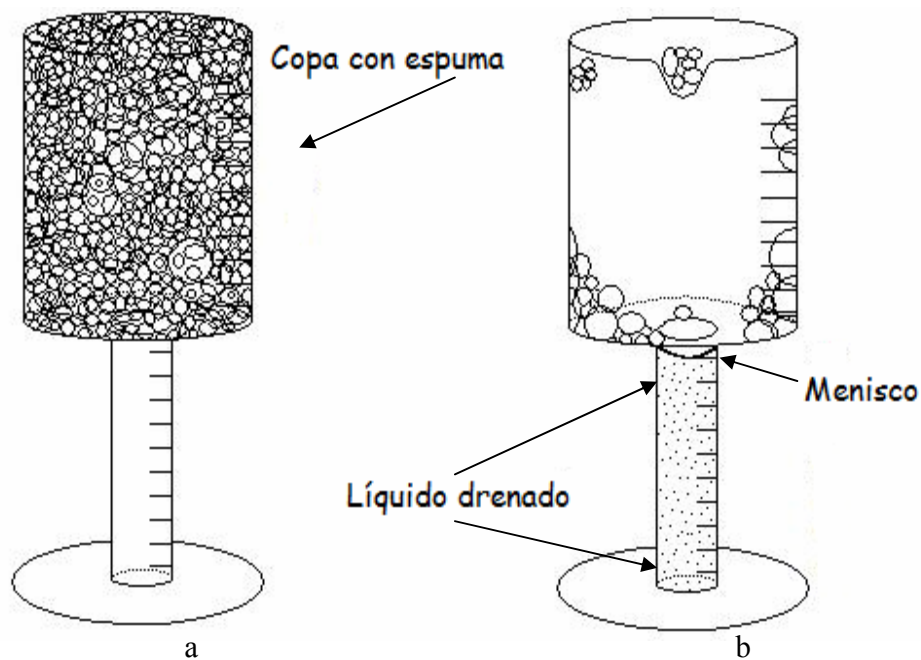


Figura 2.3 (a) Copa graduada llena con espuma y (b) Copa graduada con líquido drenado.

Se obtuvo así datos para la construcción de curvas de velocidad de drenado (volumen drenado en ml en función del tiempo en min).

- **Consistencia de la espuma**

Materiales

5 cajas Petri (5 cm x 1.5 cm), ocupadas para la densidad.

Instrumento: Texturómetro (TA-XT2i, Textura Analyser, Stable Micro System, CE).

Método

Para medir la consistencia de la espuma se empleó un texturómetro con celda de carga de 5 kg con un cilindro de acrílico de 1 in. La prueba consiste en que el cilindro hace contacto con la muestra a una velocidad de 1.7 mm/s, penetra hasta la mitad de la altura de la misma (8mm) y se retira a una velocidad de 10 mm/s, a una distancia suficiente para que la muestra se separe completamente del dispositivo, durante la prueba se despliega una curva fuerza (N) en función del tiempo (t) (Figura 2.4), a partir de la cual se calcularon los siguientes parámetros: la dureza, a través de los valores de fuerza máxima; adhesividad, área bajo la curva del pico negativo (A_2), el estiramiento que es la distancia total del pico

negativo; la fuerza adhesiva dada por la fuerza máxima negativa y el trabajo de penetración obtenido por el área bajo la curva del pico positivo (A1) multiplicada por la velocidad de penetración (1.7 mm/s) (Steffe, 1996; Casas y Ramírez, 2001; Bourne, 2002). Mediante éstos se determinó como afectó su comportamiento en la consistencia de la espuma durante el tiempo de almacén y a ambas temperaturas referidas.

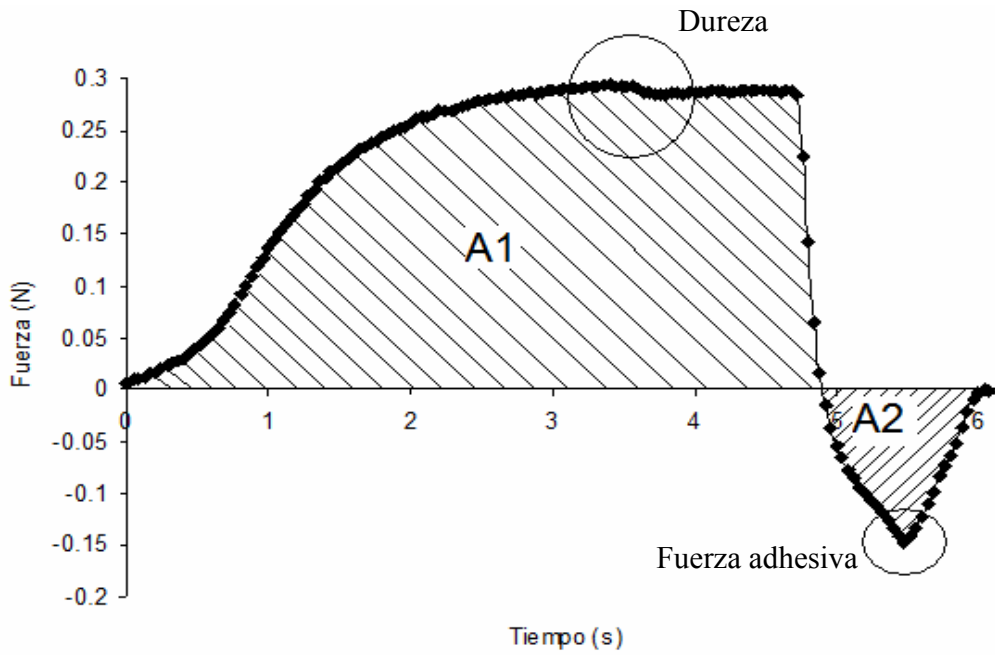


Figura 2.4 Curva modelo de adhesividad.

CAPITULO 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Densidad relativa de la clara

Al evaluarla se notó que los datos obtenidos muestran a la clara refrigerada con una densidad menor, con respecto a la no refrigerada. Al transcurrir el tiempo de almacenamiento se detecta una ligera tendencia a disminuir. En la Figura 3.1 se puede observar que la variabilidad en los valores referidos entre las dos temperaturas es de centésimas.

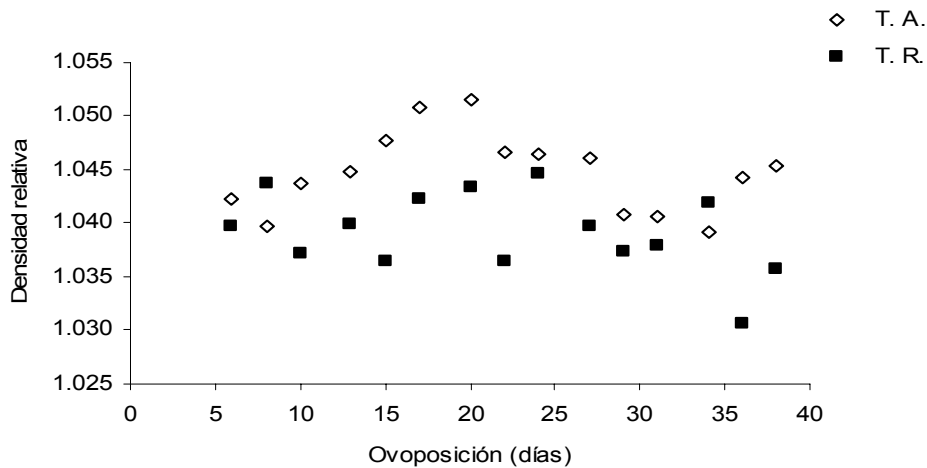


Figura 3.1 Densidad relativa de la clara en función al tiempo de ovoposición y a las dos diferentes temperaturas, T.A (temperatura ambiente) y T.R (temperatura de refrigeración).

Se realizó un promedio de las repeticiones de la experimentación y en el Cuadro 3.1 se reportan los valores de la densidad relativa a las dos temperaturas de almacenamiento y en función de los días de ovoposición, así como la media en la ovoposición y la media en las temperaturas, obtenidas por el ANOVA. La densidad relativa a temperatura ambiente tuvo una variación de 0.011 entre días de ovoposición; mientras que a la temperatura de refrigeración, tuvo una variación de 0.014.

Cuadro 3.1 Valores de la densidad relativa de la clara.

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente	Temperatura de refrigeración	Media
6	1.042	1.040	1.041
8	1.040	1.044	1.042
10	1.044	1.037	1.040
13	1.045	1.040	1.042
15	1.048	1.037	1.042
17	1.051	1.042	1.047
20	1.052	1.043	1.047
22	1.047	1.037	1.042
24	1.046	1.045	1.046
27	1.046	1.040	1.043
29	1.041	1.037	1.039
31	1.041	1.038	1.039
34	1.039	1.042	1.041
36	1.044	1.031	1.037
38	1.045	1.036	1.041
Temperatura		Media	
4		1.039	
22		1.045	

Al aplicar el análisis de varianza ANOVA de dos vías (Cuadro 3.2 y Apéndice 1), con la finalidad de determinar si existieron diferencias significativas entre medias, se obtuvo un valor para la temperatura de $P = 0.001$, indicando que si existen diferencias significativas entre las dos temperaturas de estudio, ambiente y refrigeración. Sin embargo, el efecto del tiempo de almacenamiento (días de ovoposición), no mostró diferencias significativas, con un valor de $P = 0.349$.

Cuadro 3.2 Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) para la densidad relativa.

CLARA	
Variables	Densidad relativa
Temperatura	0.001*
Ovoposición	0.349

*Si hay diferencias significativas.

El reporte de valores de la media de las dos temperaturas dio para temperatura ambiente una media de 1.045 y para la temperatura de refrigeración una media de 1.039. Como se dijo anteriormente la variación entre las temperaturas fue mínima (datos que se muestran en el Apéndice 2). En el Apéndice 3 se muestra la relación entre la media a los diferentes días

de ovoposición de la densidad relativa mismos que al igual que datos anteriores muestran una variación muy pequeña.

En el Apéndice 4 se recopilaron los valores del promedio, desviación estándar y porcentaje del coeficiente de variación de los parámetros estudiados, a través del tiempo de almacenamiento (días de ovoposición) en la temperatura ambiente y en la temperatura de refrigeración.

3.2 pH de la clara

En los primeros días después de la ovoposición, el pH registrado en la muestra refrigerada fue bajo y esta temperatura de almacenamiento ayudó a que el pH se mantuviera en un intervalo aceptable, a la temperatura ambiente no hubo diferencias grandes en los valores, siendo la diferencia mínima entre ambas temperaturas, reflejando que la alcalinidad aumentó lentamente. En la siguiente figura se puede observar esta variación entre los valores de pH (Figura 3.2).

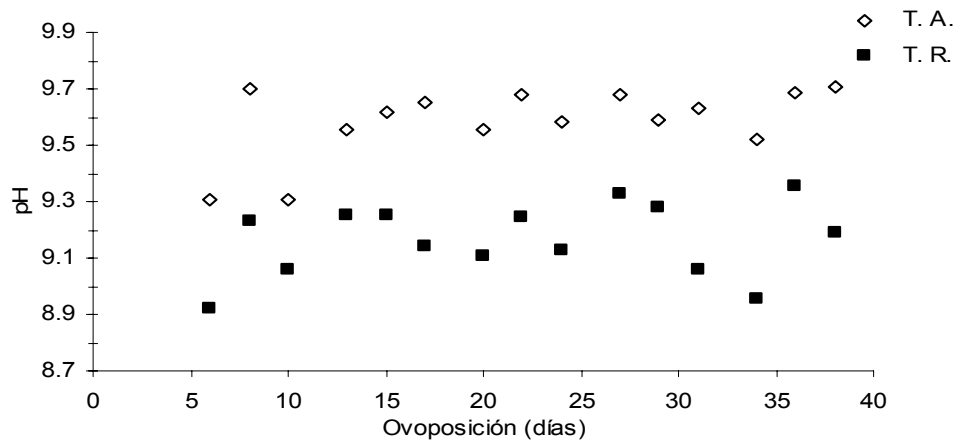


Figura 3.2 pH de la clara en función al tiempo de ovoposición y a las dos diferentes temperaturas, T.A (temperatura ambiente) y T.R (temperatura de refrigeración).

El promedio de las repeticiones del pH registrado en ambas temperaturas en los diferentes días de ovoposición como la media en la ovoposición y la media en las temperaturas, se

resume en el Cuadro 3.3, el pH a temperatura ambiente va desde 9.31 hasta un valor de 9.71 con una variación de 0.40, mientras los valores a temperatura de refrigeración, oscilan de un 8.92 a un 9.36 con una variación similar de 0.44.

Cuadro 3.3 Valores de pH de la clara.

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente	Temperatura de refrigeración	Media
6	9.31	8.92	9.12
8	9.70	9.23	9.47
10	9.31	9.06	9.18
13	9.56	9.25	9.40
15	9.62	9.25	9.44
17	9.65	9.14	9.40
20	9.56	9.11	9.33
22	9.68	9.24	9.46
24	9.58	9.13	9.35
27	9.68	9.33	9.50
29	9.59	9.28	9.44
31	9.63	9.06	9.34
34	9.52	8.95	9.24
36	9.68	9.36	9.52
38	9.71	9.19	9.45
Temperatura		Media	
4		9.17	
22		9.59	

Al aplicar el ANOVA, se observó que sí existen diferencias entre las temperaturas, ya que el valor de $P = 0.000$ como se muestra en el Cuadro 3.4 y Apéndice 1, para la temperatura. En cuanto al efecto del tiempo de almacenamiento en dicho análisis, también se observaron diferencias significativas, con una $P = 0.001$.

Cuadro 3.4 Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) para el pH.

CLARA	
Variables	pH
Temperatura	0.000*
Ovoposición	0.001*

*Si hay diferencias significativas.

Los valores de la media del pH en ambas temperaturas obtenidas en el ANOVA se muestran en el Apéndice 2. A la temperatura ambiente el valor fue de 9.59 a temperatura de refrigeración el valor fue de 9.17.

En la comparación entre las medias del pH en el tiempo de almacenamiento (Apéndice 3), se observa una variación de 9.12 a 9.52, se ha reportado bibliográficamente que durante los primeros días después de la ovoposición, el pH de la clara puede aumentar de 7.5 a 9.5 (Navarro, 1995), por lo que la variación de los días de ovoposición va acorde a lo esperado.

3.3 Densidad de la espuma

La variación que hubo en esta propiedad presenta fluctuaciones y coinciden los datos en algunos días en las dos temperaturas de estudio, como se muestra en la Figura 3.3. Se nota la secuencia en el tiempo de almacenamiento (días de ovoposición), sin mostrar una tendencia clara de las curvas, por lo que se analizan los datos directamente del Cuadro 3.5, en donde se resumen los valores promedio. Se incluyen también la media obtenida en el ANOVA para los días de ovoposición y las temperaturas.

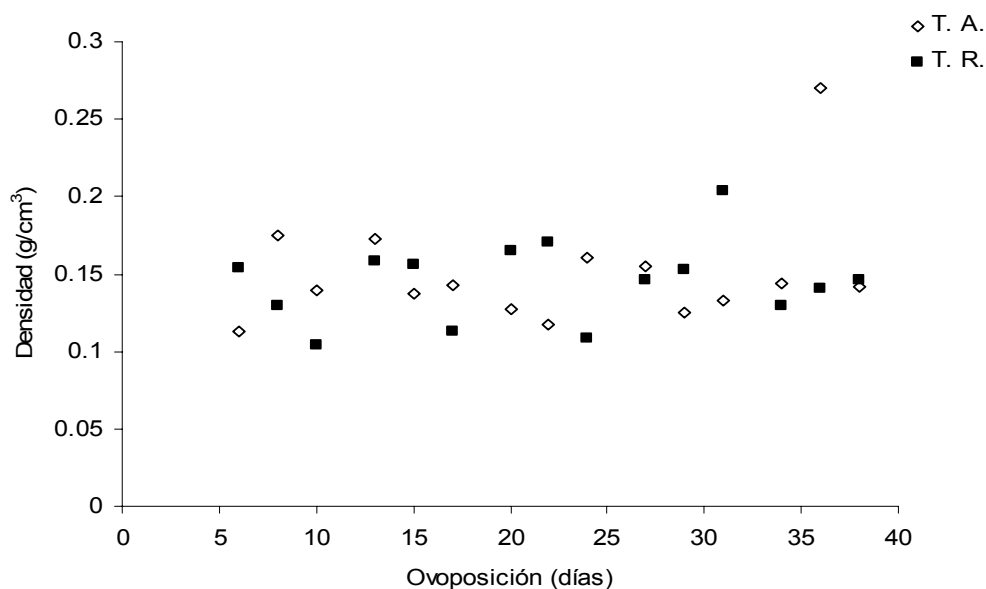


Figura 3.3 Densidad de la espuma en función al tiempo de ovoposición y a las dos diferentes temperaturas, T.A (temperatura ambiente) y T.R (temperatura de refrigeración).

La densidad a temperatura ambiente osciló entre 0.112 g/cm³, hasta un valor de 0.271 g/cm³, mientras que a la temperatura de refrigeración osciló entre un valor de 0.104 g/cm³ y un valor de 0.204 g/cm³.

Cuadro 3.5 Valores de la densidad de la espuma.

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente (g/cm ³)	Temperatura de refrigeración (g/cm ³)	Media (g/cm ³)
6	0.112	0.154	0.133
8	0.175	0.130	0.152
10	0.140	0.104	0.122
13	0.172	0.159	0.166
15	0.137	0.156	0.146
17	0.143	0.113	0.128
20	0.127	0.165	0.146
22	0.117	0.171	0.144
24	0.161	0.109	0.135
27	0.155	0.146	0.150
29	0.125	0.153	0.139
31	0.133	0.204	0.169
34	0.144	0.130	0.137
36	0.271	0.140	0.206
38	0.142	0.150	0.144
Temperatura			Media (g/cm ³)
4			0.145
22			0.150

Al realizar el ANOVA (Cuadro 3.6, Apéndice 1), para esta propiedad se obtienen valores de P = 0.714 para temperatura y para ovoposición fue de P = 0.795, ambos indican que no hay diferencias significativas.

Cuadro 3.6 Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) para la densidad de la espuma.

ESPUMA	
Variables	Densidad (g/cm ³)
Temperatura	0.714
Ovoposición	0.795

*Si hay diferencias significativas.

Al comparar las medias obtenidas por el análisis, se reportan los siguientes datos (Apéndice 2), la variación fue mínima de 0.005 g/cm³ entre ambas temperaturas. En el Apéndice 3, se

muestra la variación de los resultados con respecto al tiempo de almacenamiento, que fue de 0.184 g/cm^3 .

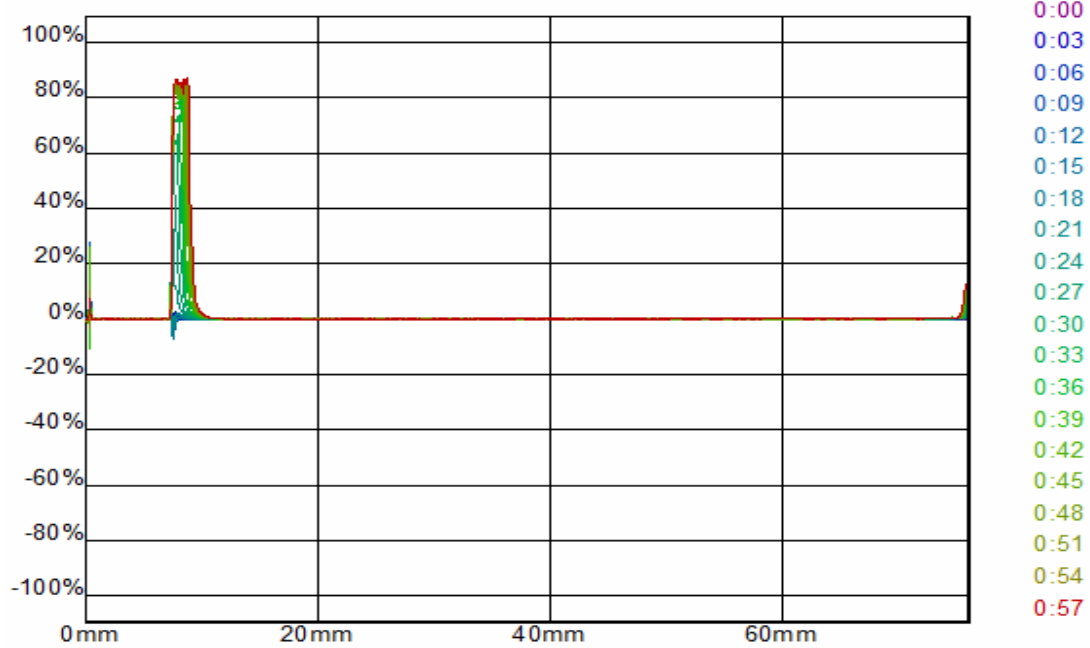
3.4 Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz en la espuma

A manera de ejemplo, sólo se presentan los gráficos obtenidos en el instrumento, correspondientes a los días 6, 22, 38 y 52 de ovoposición, en ambas temperaturas, al ser más notorio el efecto de las temperaturas en estos días. Se hace mención que no hubo repeticiones de este parámetro, ya que se realizó el seguimiento durante una hora, con la espuma recién preparada, y al tratar de llenar la celda para la réplica, la espuma ya había perdido estabilidad, por lo que no era representativa del estado inicial.

En la primera parte de las gráficas, en la zona de transmisión en modo referencia (Figuras 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10), se nota cómo el tiempo de almacenamiento y las temperaturas afectan a la estabilidad de la espuma, ya que se detecta la formación de un pico, con una gran transmisión de luz en la parte baja del tubo en el comienzo y al paso del tiempo de la prueba se hace más ancho el pico, indicando el volumen del líquido drenando, en la mayoría de los casos el pico llega a 80 % de transmisión o lo sobrepasa.

En la segunda parte de estas mismas gráficas, en la zona de retrodispersión en modo referencia, se observa cómo desde los primeros momentos la curva presenta pequeños picos y a lo largo de ella, éstos revelan las burbujas existentes dentro de la celda de medición cilíndrica de vidrio; al transcurrir el tiempo de la prueba, se va desplazando hacia abajo la curva de retrodispersión, lo que indica la disminución de la estabilidad y aumenta el tamaño de los picos, que demuestran rupturas de burbujas, uniones de éstas y su aumento de tamaño mediante la coalescencia de las mismas, probablemente por el fenómeno de maduración de Oswald. Se nota en las muestras a temperatura ambiente que este desplazamiento es menor que en las muestras a temperatura que se mantuvieron en refrigeración, por lo que en general, se registra menor desestabilización en las muestras almacenadas a temperatura ambiente.

Delta de transmisión



Delta de retrodispersión

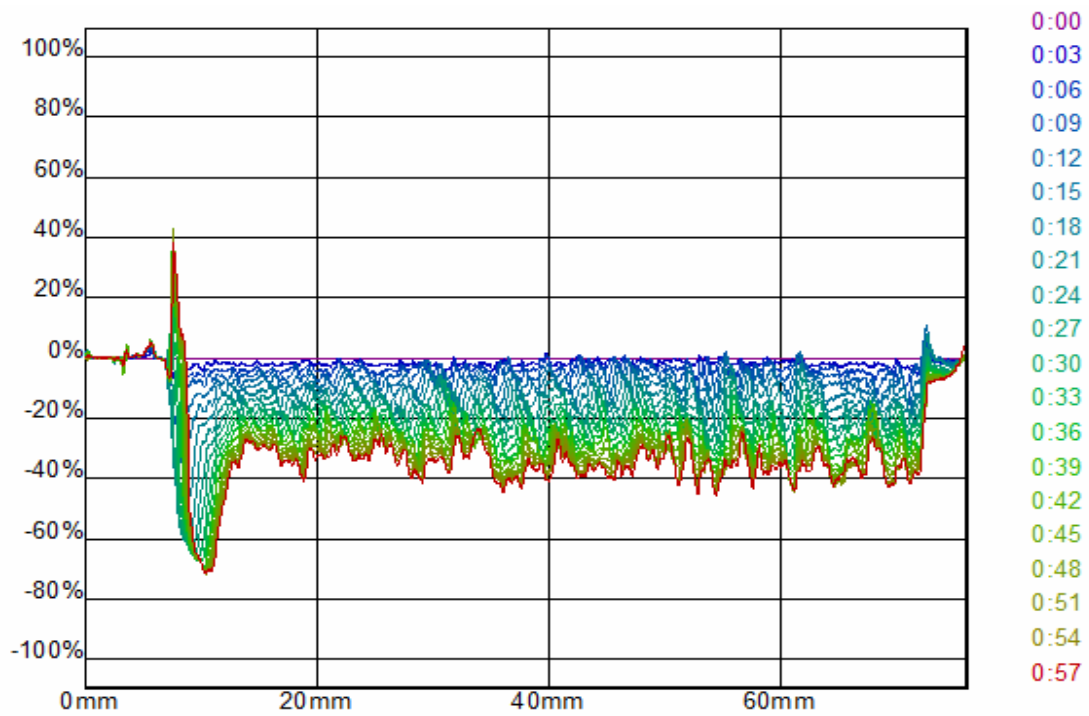
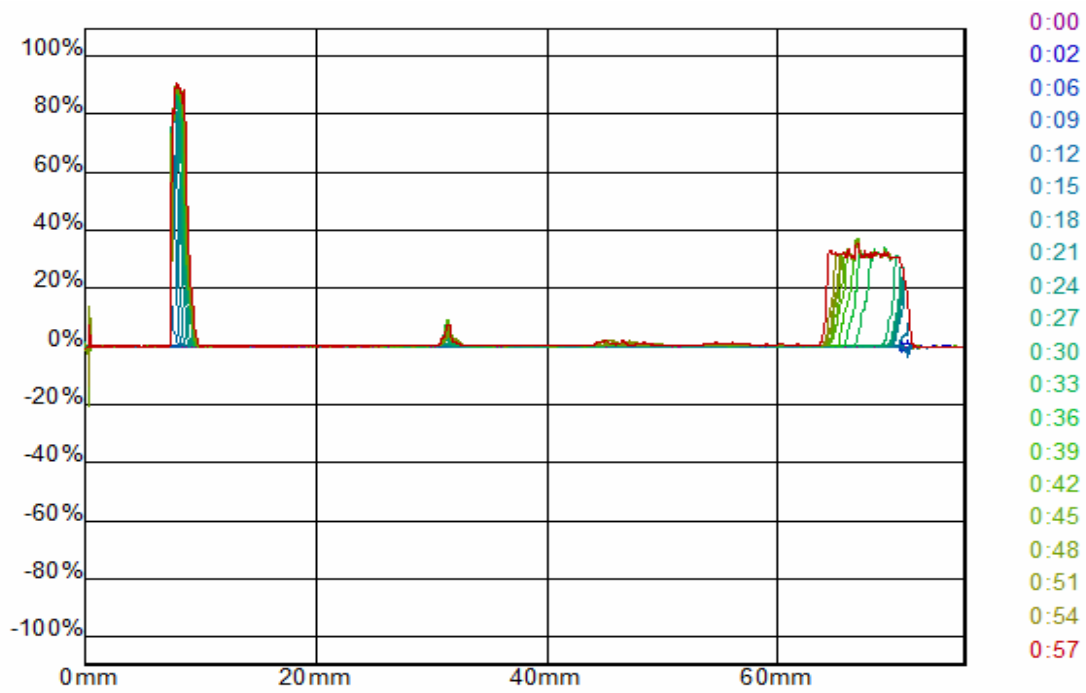


Figura 3.4 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 6 de ovoposición a temperatura ambiente en modo de referencia.

Delta de transmisión



Delta de retrodispersión

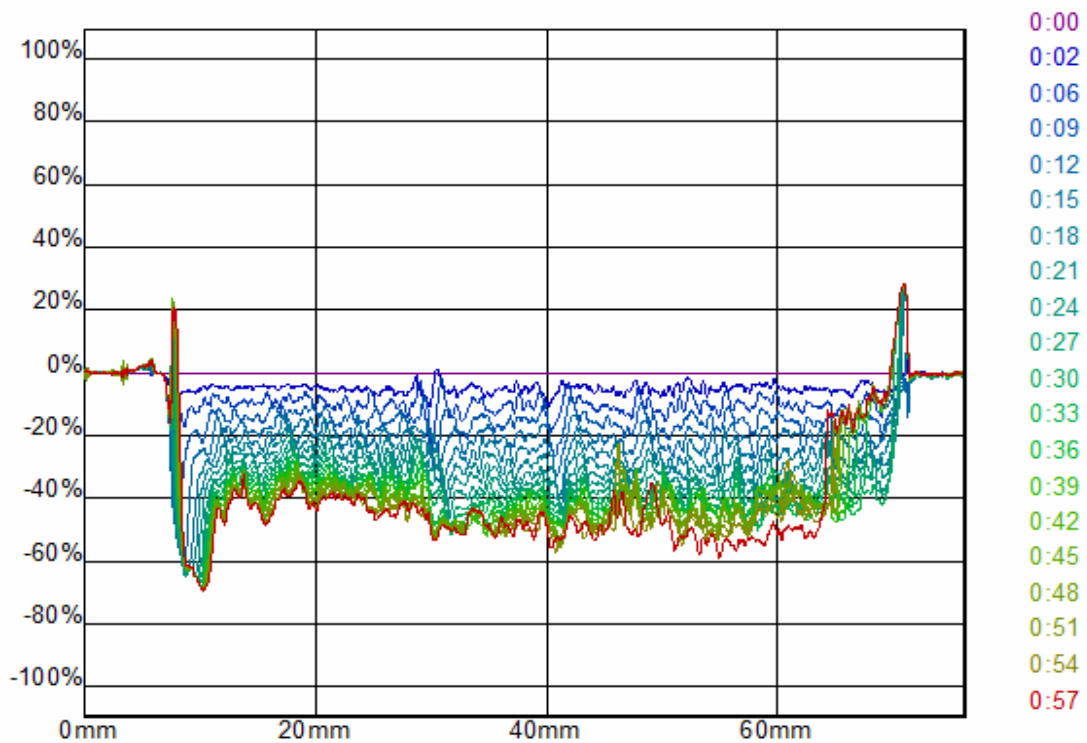
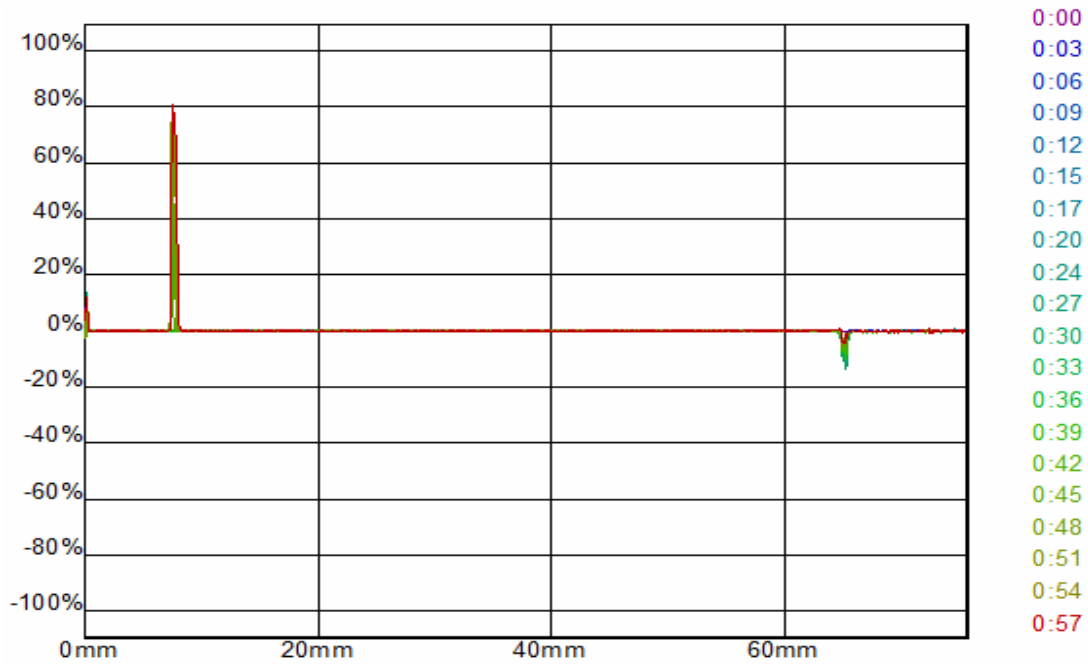


Figura 3.5 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 6 de ovoposición a temperatura de refrigeración en modo de referencia.

Delta de transmisión



Delta de retrodispersión

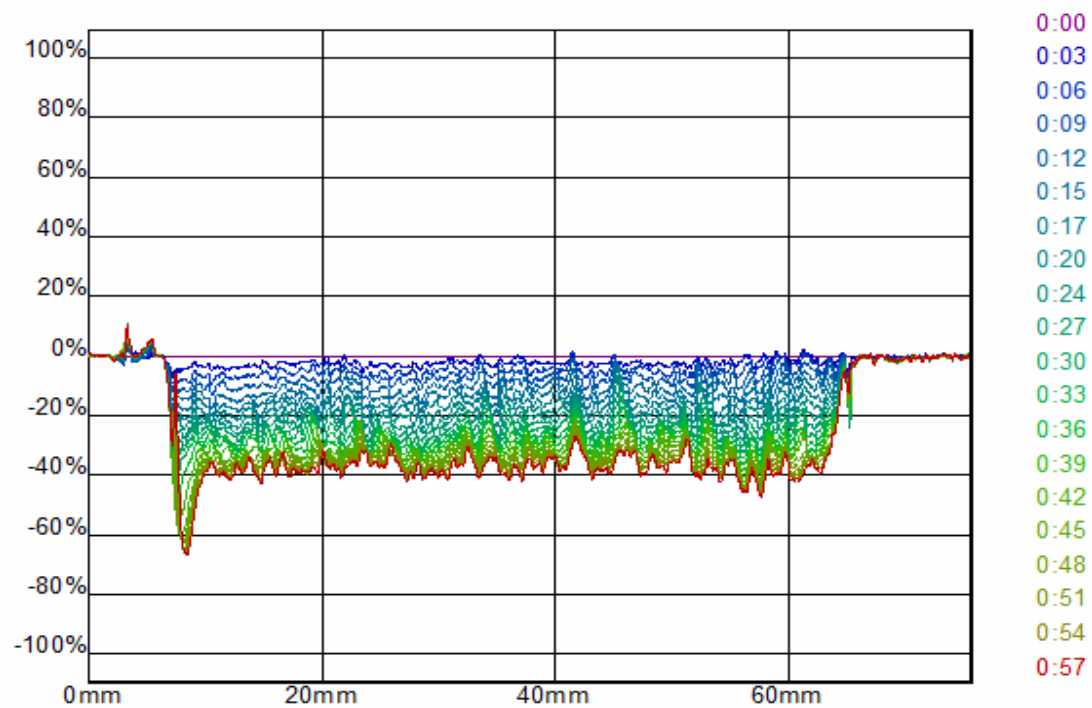
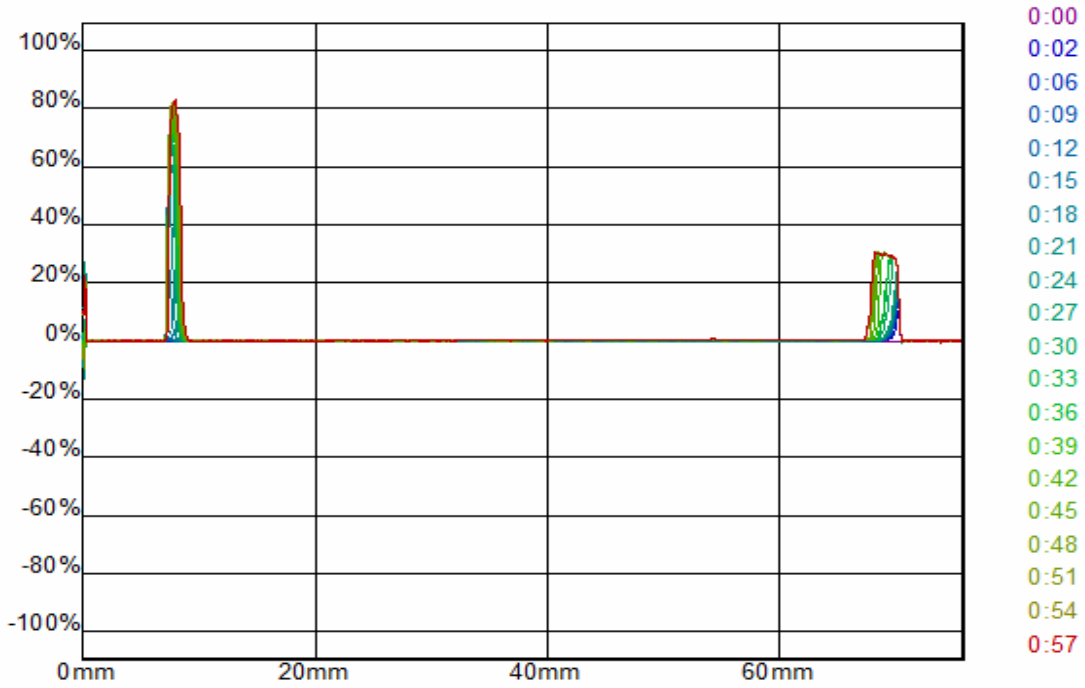


Figura 3.6 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 22 de ovoposición a temperatura ambiente en modo de referencia.

Delta de transmisión



Delta de retrodispersión

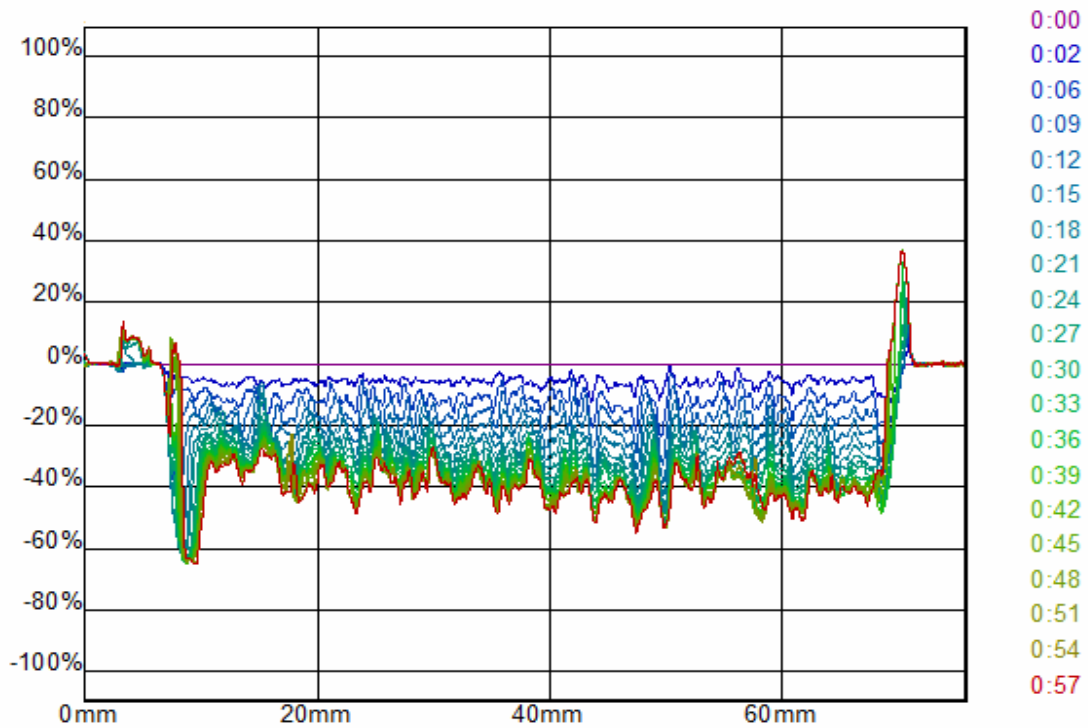
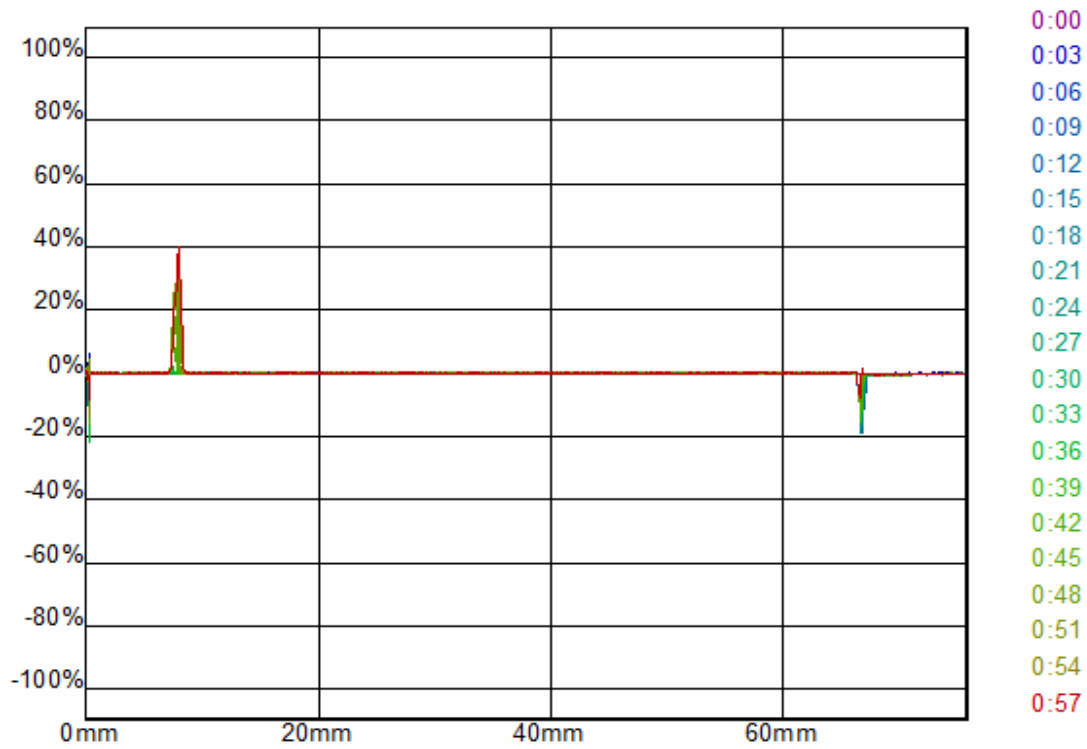


Figura 3.7 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 22 de ovoposición a temperatura de refrigeración en modo de referencia.

Delta de transmisión



Delta de retrodispersión

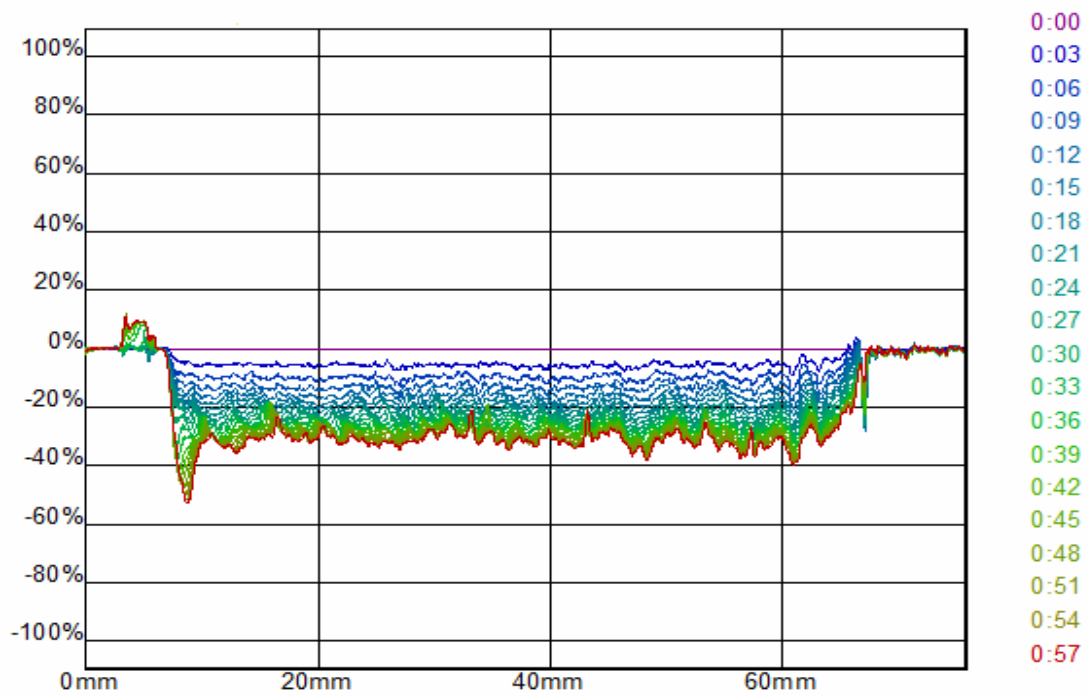
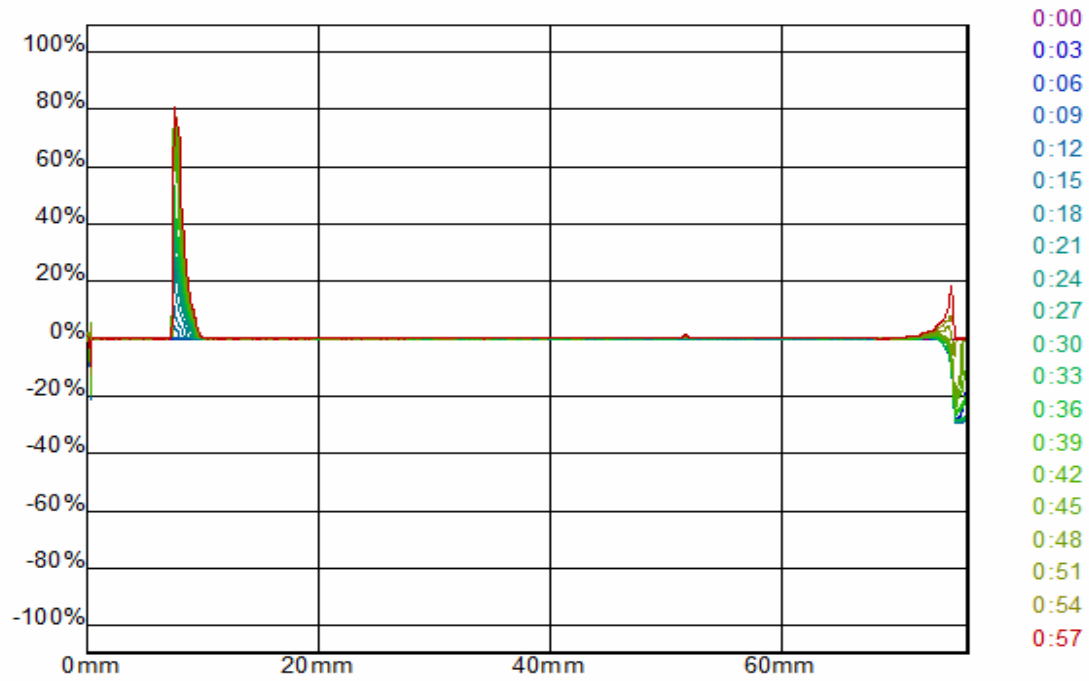


Figura 3.8 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 38 de ovoposición a temperatura ambiente en modo de referencia.

Delta de transmisión



Delta de retrodispersión

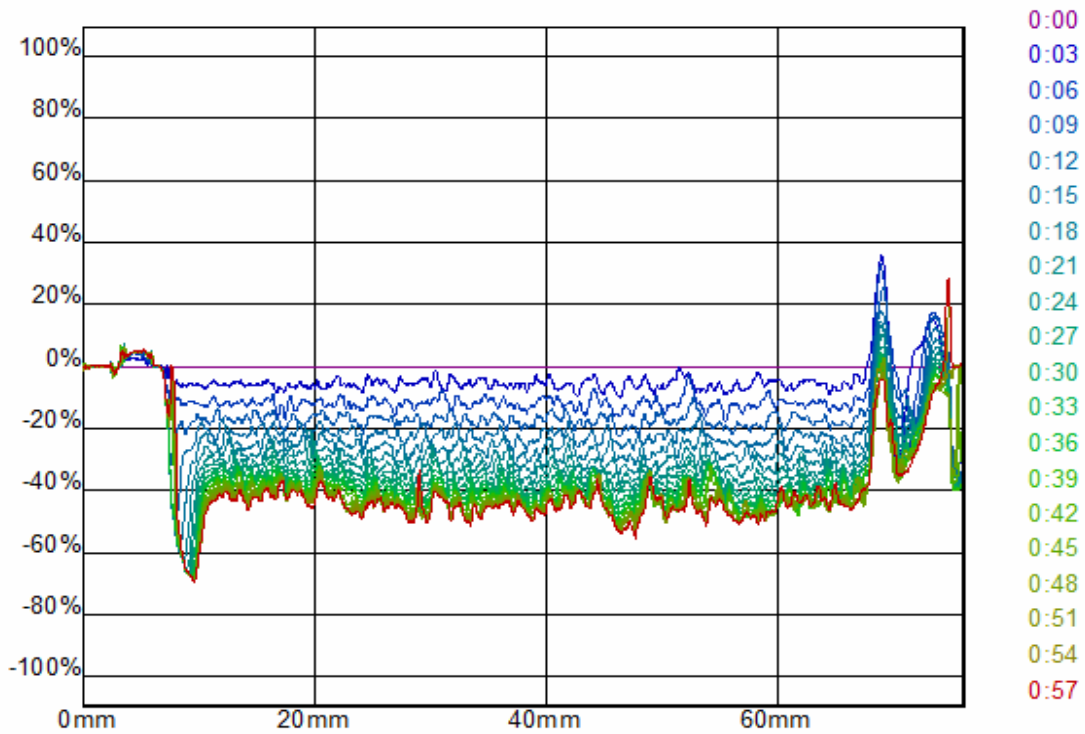


Figura 3.9 Perfiles de transmisión y retrodispersión en una hora del día 38 de ovoposición a temperatura de refrigeración en modo de referencia.

Con los datos del transmisor de luz en la espuma formada se cuantificó la formación de líquido drenado, se graficó el espesor absoluto del pico drenado en función del tiempo de prueba, y se construyó el gráfico de la cinética para el tiempo de almacenamiento a las dos temperaturas. Se obtuvo una línea de tendencia, al efectuar una regresión de tipo logarítmica (espesor absoluto en función del logaritmo del tiempo), luego se calcularon los parámetros a y b, a través de la siguiente ecuación, $\text{espesor absoluto} = a \ln(\text{tiempo}) + b$, donde a representa la velocidad de drenado en ml/min y b el espesor de drenado en un minuto, como se muestra en las curvas de las Figuras 3.10 los días 6 y 10 de ovoposición, en la Figura 3.11 los días 15 y 27 y en la Figura 3.12 (a) Día 34 y (b) Día 38; estos días se reportan a manera de ejemplo de la experimentación realizada.

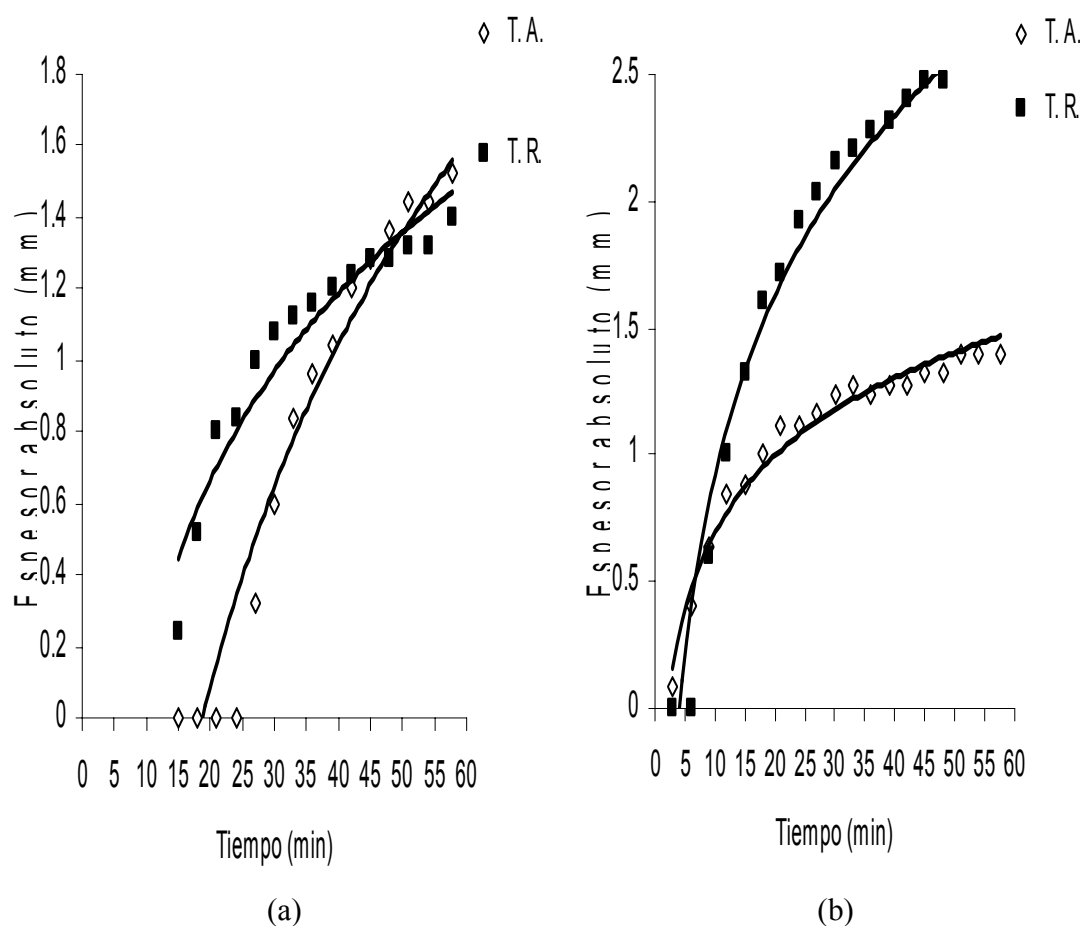
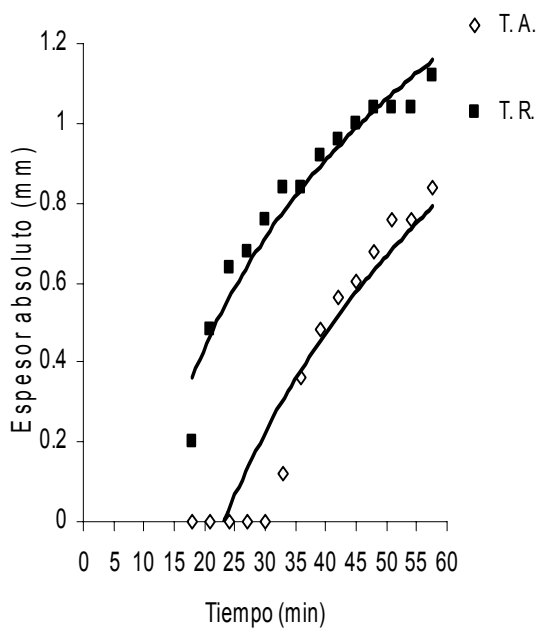
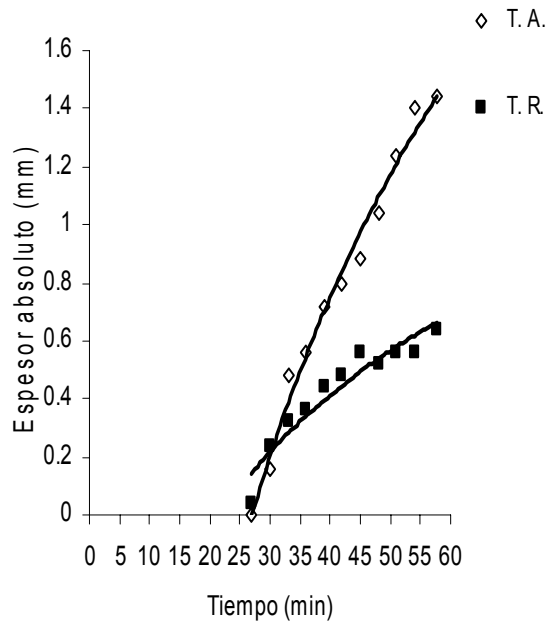


Figura 3.10 Comparación de datos obtenidos en la transmisión entre ambas temperaturas en los días de ovoposición; (a) día 6, (b) día 10.

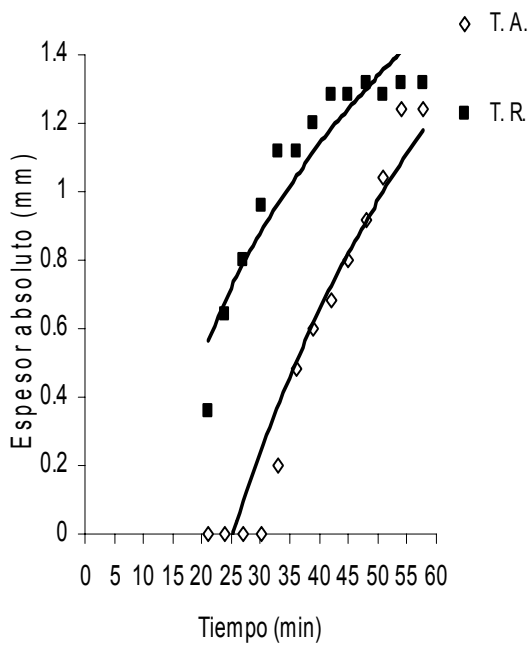


(a)

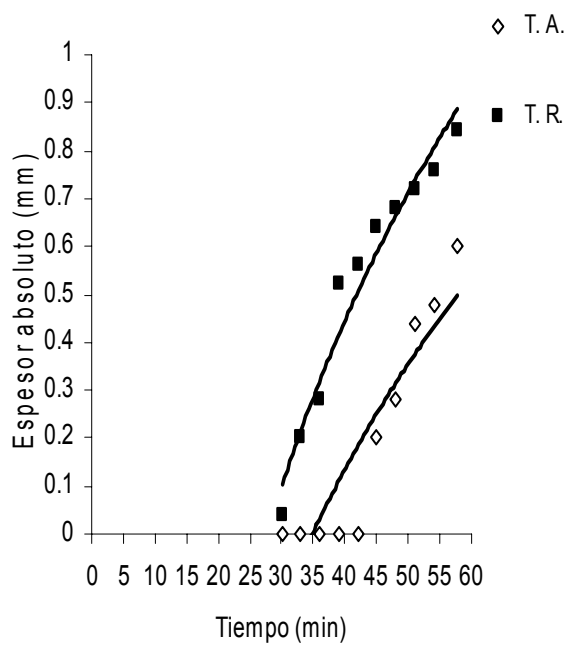


(b)

Figura 3.11 Comparación de datos obtenidos en la transmisión entre ambas temperaturas en los días de ovoposición, (a) día 15 y (b) día 27.



(a)



(b)

Figura 3.12 Comparación de datos obtenidos en la transmisión entre ambas temperaturas en los días de ovoposición, (a) día 34 y (b) día 38.

Las muestras refrigeradas drenaron más rápido que las muestras a temperatura ambiente, por lo que presentaron valores superiores, aunque con tendencia similar de la curva.

En el Cuadro 3.7 se presentan los datos obtenidos para la velocidad de drenado de la espuma en los diferentes días de ovoposición, con respecto a las dos diferentes temperaturas 22 °C y 4 °C, así como la media en la ovoposición y la media en las temperaturas obtenidas en el ANOVA, mismos que salieron del ajuste de la ecuación $y = a \ln(t) + b$, alcanzando los siguientes valores a temperatura ambiente, un mínimo de 0.42 mm/min y un máximo de 5.53 mm/min, mientras que a temperatura de refrigeración el mínimo fue de 0.21 mm/min y el máximo de 1.58 mm/min.

Cuadro 3.7 Valores de la velocidad de drenado de la espuma

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente (mm/min)	Temperatura de refrigeración (mm/min)	Media (mm/min)
6	1.38	0.57	0.98
8	1.07	1.35	1.21
10	0.42	1.06	0.74
15	1.00	0.59	0.79
22	1.36	0.62	0.99
27	1.91	0.57	1.24
29	2.09	1.22	1.65
31	1.15	1.58	1.37
34	1.86	0.75	1.31
36	5.53	0.86	3.19
38	1.69	0.21	1.45
Temperatura		Media (mm/min)	
4		0.94	
22		1.77	

Al aplicar el análisis de varianza ANOVA de dos vías (Cuadro 3.8, Apéndice 1), con la finalidad de determinar si existieron diferencias significativas entre medias de la velocidad de drenado, se obtuvo un valor para la temperatura de $P = 0.084$, indicando que no existen diferencias significativas entre las dos temperaturas de estudio. El efecto del tiempo de almacenamiento (días de ovoposición), tampoco mostró diferencias significativas con un valor de $P = 0.577$.

Cuadro 3.8 Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) para la velocidad de drenado.

ESPUMA			
Variables	Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz		
	Velocidad de drenado (mm/min)	Espesor de drenado en un minuto (mm)	Tiempo de inicio de drenado (min)
Temperatura	0.084	*0.018	*0.001
Ovoposición	0.577	0.450	*0.049

* Si hay diferencias significativas.

En los datos comparativos a la media entre temperaturas (Apéndice 2) se reportan a temperatura ambiente y la temperatura de refrigeración una variación de 0.83 mm/min. En el Apéndice 3 se indica la relación entre los días de ovoposición en este parámetro la diferencia fue de 0.91 mm/min.

En el Cuadro 3.9 se muestran los datos obtenidos para el espesor de drenado en un minuto de la espuma en los diferentes días de ovoposición, con respecto a las dos diferentes temperaturas 22 °C y 4 °C, como la media en la ovoposición y la media en las temperaturas, mismos que salieron de la ecuación $y = a \ln(t) + b$. Alcanzando los valores a temperatura ambiente un valor de -0.25 mm hasta un valor de -15.61 mm mientras que a temperatura de refrigeración un valor de -0.91 mm hasta un valor de -4.01 mm.

Cuadro 3.9 Valores del espesor de drenado en un minuto de la espuma

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente (mm)	Temperatura de refrigeración (mm)	Media (mm)
6	- 4.02	- 0.91	-2.46
8	- 2.97	- 3.11	-3.04
10	- 0.25	- 1.56	-0.91
15	- 3.18	- 1.25	-2.22
22	- 5.00	- 1.41	-3.20
27	- 6.31	- 1.68	-3.99
29	- 6.72	- 3.46	-5.09
31	- 4.02	- 3.08	-3.55
34	- 6.24	- 1.63	-3.93
36	- 15.61	- 1.89	-8.75
38	- 6.25	- 4.01	-5.13
Temperatura		Media (mm)	
4		-2.18	
22		-5.51	

Al ser más negativo el valor a temperatura ambiente (-5.51 mm) que el valor a temperatura de refrigeración (-2.18 mm), resulta con mayor estabilidad, al no haber empezado a drenar antes del minuto de prueba. Entre más negativo sea el valor obtenido, tardará más tiempo en drenarse la espuma, resultando mayor estabilidad de la muestra.

Al aplicar el análisis de varianza ANOVA de dos vías (Cuadro 3.8, Apéndice 1), con la finalidad de determinar si existieron diferencias significativas entre medias del espesor drenado de la espuma, se obtuvo un valor para la temperatura de $P = 0.018$, indicando que si existen diferencias significativas entre las dos temperaturas de estudio, ambiente y refrigeración. El tiempo de almacenamiento (días de ovoposición), no mostró diferencias significativas, con un valor de $P = 0.450$.

En los datos comparativos de la media entre temperaturas (Apéndice 2) se reportan a temperatura ambiente y la temperatura de refrigeración una variación de -3.3 mm. En el Apéndice 3 se indica la relación entre los días de ovoposición en la comparación de la media la variación fue de -7.8 mm.

Con los datos obtenidos en la ecuación de ajuste y considerando una ordenada al origen igual a 0, se despeja el tiempo de inicio de drenado:

$$\begin{aligned}y &= a \ln(t) + b \\ \text{donde } y &= 0 \\ a \ln(t) &= -b \\ t &= \exp^{(-b/a)}\end{aligned}$$

A partir de esta expresión se calcularon los siguientes valores del tiempo de inicio de drenado a temperatura ambiente y a temperatura de refrigeración, los cuales se presentan en el Cuadro 3.10. Bajo esta ordenada al origen, se obtuvo el tiempo de inicio de drenado, siendo el promedio de éste para la temperatura ambiente un valor de 24.6 min., y para la temperatura de refrigeración un valor de 11.4 min, lo que implica que se tuvo mayor estabilidad a temperatura ambiente.

Cuadro 3.10 Valores del tiempo de inicio de drenado en ambas temperaturas.

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente (min)	Temperatura de refrigeración (min)
6	18.3	4.9
8	16.1	10.5
10	1.8	4.5
15	24.4	8.4
22	39.5	9.7
27	27.0	18.8
29	25.0	16.9
31	32.7	7.1
34	28.8	8.7
36	16.8	9.1
38	40.1	27.6
Temperatura		Media (min)
4		11.5
22		24.6

Al aplicar el análisis de varianza ANOVA de dos vías (Cuadro 3.8, Apéndice 1), con la finalidad de determinar si existieron diferencias significativas entre medias del tiempo de inicio de drenado en ambas temperaturas, se obtuvo un valor para la temperatura de $P = 0.001$, y en el tiempo de almacenamiento (días de ovoposición) se tuvo un valor de $P = 0.049$, indicando que si existen diferencias significativas entre los dos parámetros.

3.5 Estabilidad por velocidad de drenado de la espuma en copas graduadas

En la Figura 3.13 se muestra la comparación entre las cuatro copas con el tiempo total que tardó cada una de ellas, en drenar los 10 ml, del día 6 de ovoposición almacenada a temperatura ambiente.

Para el análisis estadístico, se tomó como referencia la recolección de mililitros drenados en los primeros 60 minutos; los datos de volumen drenado se ajustaron a un modelo logarítmico para un mejor análisis. Con los datos obtenidos de las pendientes también se realizó el ANOVA. En la Figura 3.14 se muestra las cuatro copas al minuto 60 de experimentación del día 6 a temperatura ambiente con sus respectivas líneas de tendencia,

al igual que las curvas de transmisión-retrodispersión presentaron un buen ajuste al modelo logarítmico, donde el volumen drenado = $a \ln(\text{tiempo}) + b$.

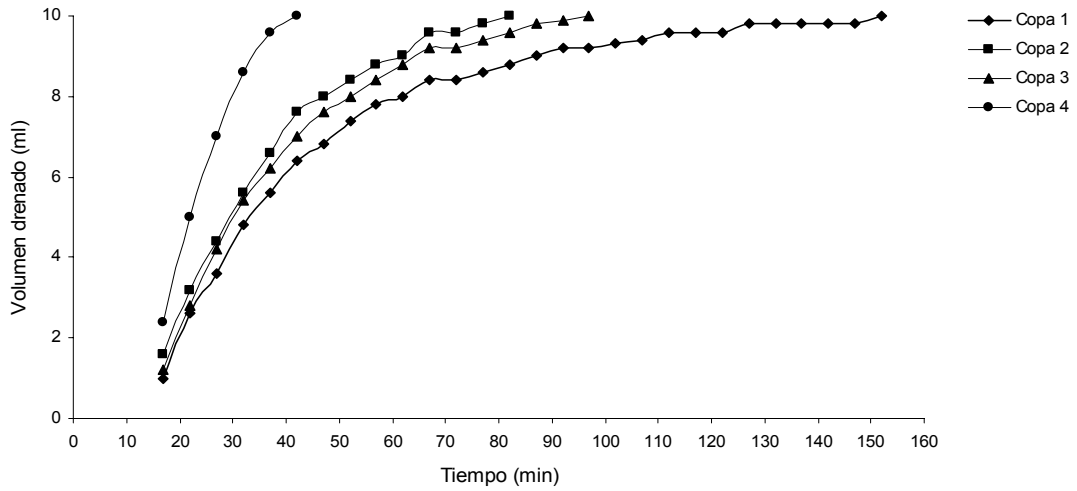


Figura 3.13 Tiempo total de drenado del día 6 a temperatura ambiente.

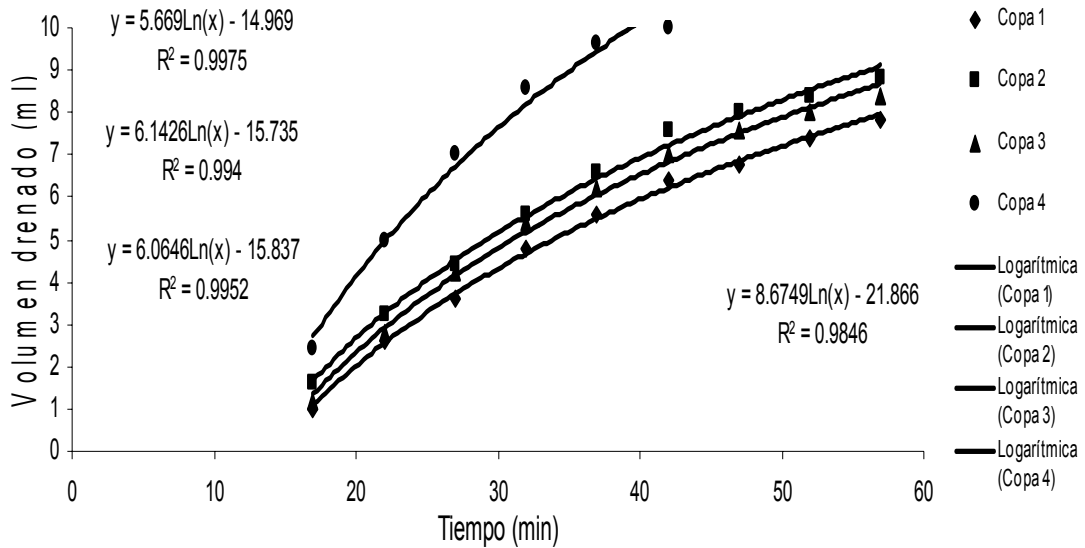


Figura 3.14 Drenado de las cuatro copas al minuto 60 de experimentación.

En la figura 3.15 se representa la variación de la velocidad de drenado en ml/min (a), obtenidos con los datos de las regresiones.

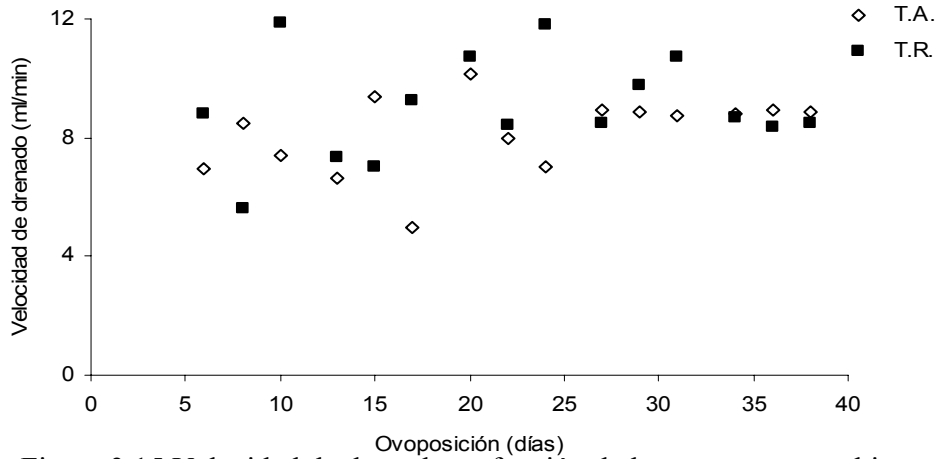


Figura 3.15 Velocidad de drenado en función de la temperatura ambiente, temperatura de refrigeración y días de ovoposición.

En el Cuadro 3.11 se muestran los valores medios obtenidos por el ANOVA para la velocidad de drenado de la espuma en los diferentes días de ovoposición, con respecto a las dos temperaturas de almacenamiento (22 °C y 4 °C)

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente (ml/min)	Temperatura de refrigeración (ml/min)	Media (ml/min)
6	6.64	8.03	7.34
8	7.66	5.20	6.43
10	6.92	11.58	9.25
13	6.14	7.10	6.62
15	8.82	6.50	7.66
17	4.45	8.97	6.70
20	10.01	10.05	10.04
22	7.28	7.49	7.39
24	6.46	11.43	8.94
27	7.95	7.73	7.84
29	8.24	8.98	8.61
31	8.04	9.80	8.92
34	7.58	8.10	7.84
36	8.25	7.58	7.92
38	8.00	7.77	7.88
Temperatura			Media (ml/min)
4			8.42
22			7.50

Teniendo para la temperatura ambiente, un valor mínimo de 4.45 (ml/min) y un valor máximo de 10.01 (ml/min), con una variación entre ellos de 6.56 (ml/min), en cambio para la temperatura de refrigeración el valor mínimo fue de 5.20 (ml/min) y un valor máximo de 11.58 (ml/min), con una diferencia entre estos de 6.38 (ml/min).

Al aplicar el ANOVA de dos vías en los datos de velocidad de drenado (Cuadro 3.12, Apéndice 1), se registra para el efecto de la temperatura un valor de $P = 0.138$ y para la ovoposición un valor de $P = 0.647$, así es que en ambos casos no hay diferencias significativas.

Cuadro 3.12 Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) para la estabilidad por copas.

ESPUMA			
Variables	Estabilidad por velocidad de drenado en copas graduadas		
	Velocidad de drenado (ml/min)	Volumen de drenado en un minuto (ml)	Tiempo de inicio de drenado (min)
Temperatura	0.138	0.321	0.084
Ovoposición	0.647	0.728	0.621

* Si hay diferencias significativas.

Comparando la media entre las temperaturas (Apéndice 2), se tiene a 4 °C un valor de velocidad de drenado de 8.42 (ml/min) y a 22 °C un valor de 7.50 (ml/min), con una diferencia entre ellas de 0.92 (ml/min).

En la comparación de la media de los días de ovoposición (Apéndice 3), el valor mínimo es de 6.43 (ml/min) y alcanza un valor máximo con un valor de 10.04 (ml/min), con una variación entre ellos de 3.61 (ml/min).

Con los datos de las regresiones se calculó el volumen de drenado en un minuto (b), en la Figura 3.16.

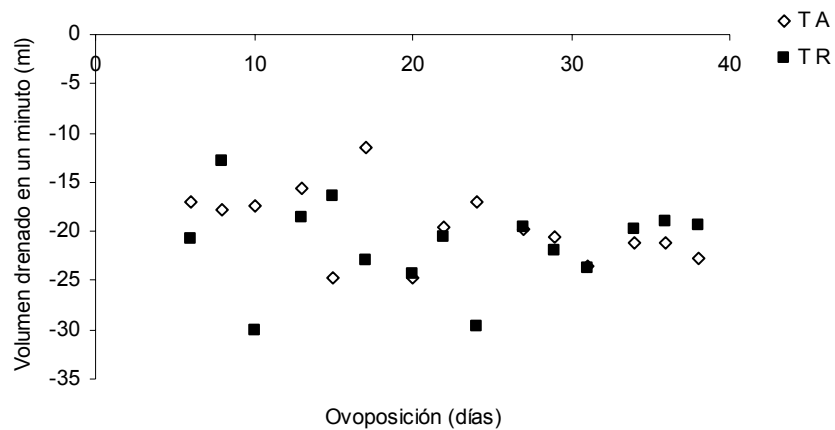


Figura 3.16 Volumen de drenado en un minuto en función de la temperatura ambiente, temperatura de refrigeración y días de ovoposición.

En el Cuadro 3.13 se resumen los datos obtenidos por el ANOVA para el volumen de drenado en un minuto de la espuma (b) en los diferentes días de ovoposición, con respecto a las dos diferentes temperaturas 22 °C y 4 °C. Teniendo a temperatura ambiente un valor mínimo de -11.42 ml y un valor máximo de -24.76 ml, con una variación entre estas de -13.34 ml; en cambio para la temperatura de refrigeración se tuvo un valor mínimo de -12.78 ml y un valor máximo de -30.03 ml, con una diferencia entre ellos de -17.25 ml.

Cuadro 3.13 Valores del volumen de drenado en un minuto de la espuma

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente ml	Temperatura de refrigeración ml	Media ml
6	-17.10	-20.73	-18.92
8	-17.82	-12.78	-15.30
10	-17.32	-30.03	-23.67
13	-15.63	-18.50	-17.07
15	-24.68	-16.33	-20.50
17	-11.42	-22.90	-17.16
20	-24.76	-24.30	-24.53
22	-19.49	-20.47	-19.98
24	-17.06	-29.73	-23.39
27	-19.74	-19.62	-19.68
29	-20.61	-21.97	-21.29
31	-23.47	-23.76	-23.61
34	-21.13	-19.85	-20.49
36	-21.24	-19.00	-20.12
38	-22.79	-19.32	-21.06
Temperatura			Media ml
4			-21.28
22			-19.62

Al aplicar el ANOVA de dos vías en los datos de volumen de drenado en un minuto (Cuadro 3.12, Apéndice 1), se registra para el efecto de la temperatura, dio un valor de $P = 0.321$ y para la ovoposición dio un valor de $P = 0.728$, así es que en ambos casos tampoco existen diferencias significativas.

Comparando la media entre las temperaturas (Apéndice 2), se tiene a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ un valor de velocidad de drenado de -21.28 ml y a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ un valor de -19.62 ml ; mostrando una variación de -1.66 ml . En la comparación de la media de los días de ovoposición (Apéndice 3), tuvo un mínimo de -15.30 ml hasta un máximo de -23.67 ml , con una diferencia de -8.37 ml .

De igual manera que en la estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz, se calculó el tiempo de inicio de drenado $t = \exp^{-b/a}$, obteniendo los resultados para la temperatura ambiente y para la temperatura de refrigeración expresados en el Cuadro 3.14. Bajo esta expresión y con una ordenada al origen igual a 0, se tuvo que el promedio del tiempo de inicio de drenado para la temperatura ambiente fue de 13.8 min. y para la temperatura de refrigeración fue de 12.6 min.

Cuadro 3.14 Valores del tiempo de inicio de drenado en ambas temperaturas.

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente (min)	Temperatura de refrigeración (min)
6	13.2	13.2
8	10.2	11.7
10	12.2	13.4
13	12.8	13.5
15	16.4	12.3
17	13.0	12.8
20	11.8	11.2
22	14.6	15.4
24	14.1	13.5
27	12.0	12.6
29	12.2	11.6
31	18.5	11.3
34	16.2	11.6
36	13.1	12.3
38	17.4	12.0
Temperatura		Media (min)
4		12.6
22		13.8

Al aplicar el ANOVA de dos vías en los datos de tiempo de inicio de drenado (Cuadro 3.12, Apéndice 1), se registra para el efecto de la temperatura un valor de $P = 0.084$ y para la ovoposición un valor de $P = 0.621$, así es que en ambos casos no hay diferencias significativas.

Se observó que tras analizar los tres diferentes parámetros (velocidad, volumen y tiempo de inicio de drenado) no hubo diferencias significativas, tanto por el tiempo de almacenaje como a efecto de las temperaturas.

3.6 Consistencia de la espuma

La consistencia de la espuma se determinó a través un ciclo de penetración-retirada en un texturómetro. En el día 8 de ovoposición, hubo un problema técnico con la computadora del equipo, por tal motivo no se obtuvieron datos de consistencia de ese día.

En las gráficas siguientes se muestra a manera de ejemplo, los cambios en tres días de ovoposición a las dos temperaturas de estudio, se comparan dos muestras representativas de las cinco realizadas a temperatura ambiente y de igual manera dos muestras representativas almacenadas a temperatura de refrigeración en cada una de las gráficas.

Se puede apreciar en la primera gráfica de la Figura 3.17 a) el día 6 de ovoposición, hay gran diferencia entre las dos temperaturas de estudio, ya que almacenadas a temperatura ambiente llegan las muestras a una fuerza máxima positiva no mayor de 0.29 N, mientras almacenadas a temperatura de refrigeración la fuerza máxima positiva es de 0.62 N. La fuerza máxima negativa de las muestras almacenadas a temperatura ambiente es de -0.14 N, mientras que las muestras almacenadas a la temperatura de refrigeración es de -0.18 N.

En la segunda gráfica de la Figura 3.17 b) el día 22 se visualiza que los valores han cambiado de tendencia, puesto que las muestras almacenadas a temperatura ambiente en el pico positivo ahora tienen valores más altos (0.46 N) que las muestras almacenadas a temperatura de refrigeración (0.28 N), de igual manera, los datos del pico negativo de las

muestras almacenadas a temperatura ambiente (-0.17 N) presentaron valores absolutos mayores y las muestras almacenadas a temperatura de refrigeración no (-0.12 N).

En la tercera gráfica de la Figura 3.17 c) el día 38 regresa la tendencia del día 6, en el pico positivo las muestras almacenadas a temperatura ambiente tuvieron valores más bajos (0.259 N) que a temperatura de refrigeración (0.341 N) y en el pico negativo los valores fueron de -0.119 N a temperatura ambiente y de -0.153 N a temperatura de refrigeración

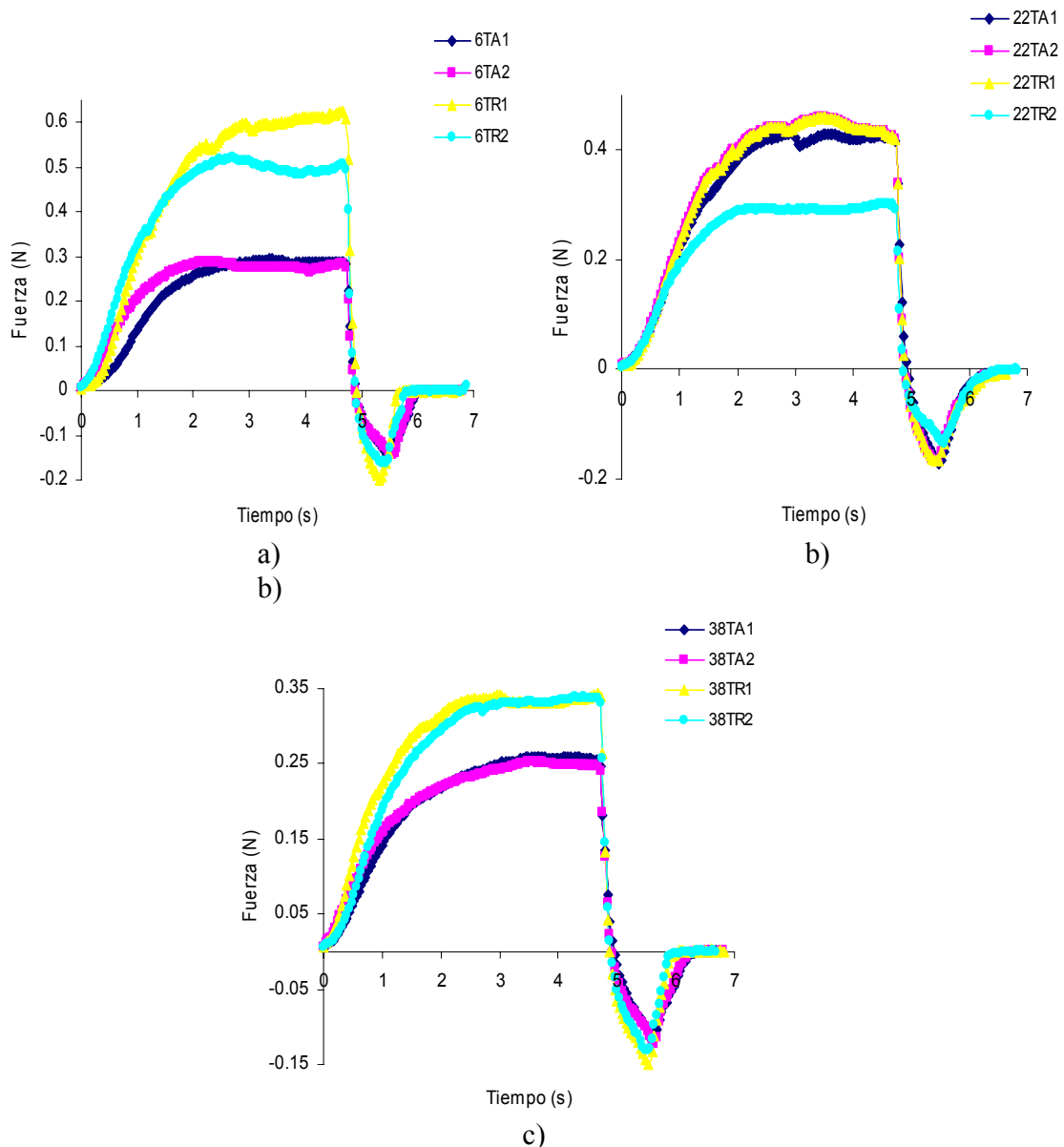


Figura 3.17 Gráficas de fuerza (N) en función del tiempo (s) en los días a) 6, b) 22 y c) 38 de ovoposición, a temperatura ambiente (T. A.) y de refrigeración (T. R.).

Se observa que en las muestras almacenadas a temperatura de refrigeración la espuma resiste mayor fuerza que en las muestras almacenadas a temperatura ambiente, en ambos casos la fuerza se va perdiendo a través del tiempo de almacenamiento. Es importante mencionar, que en la mayoría de los días de experimentación los datos de las muestras almacenadas a la temperatura ambiente en el máximo de la curva sobrepasa de 0.3 N, mientras que en los días a temperatura de refrigeración no van allá de los 0.2 N.

3.6.1. Dureza

Es definida como la fuerza máxima durante la penetración (Steffe, 1996; Casas y Ramírez, 2001; Bourne, 2002). En el día 6 de experimentación, se nota una mayor diferencia entre temperaturas, así como en los últimos cinco días experimentados; sin embargo en las muestras de los días intermedios de la experimentación hay variación pero es menor (Figura 3.18).

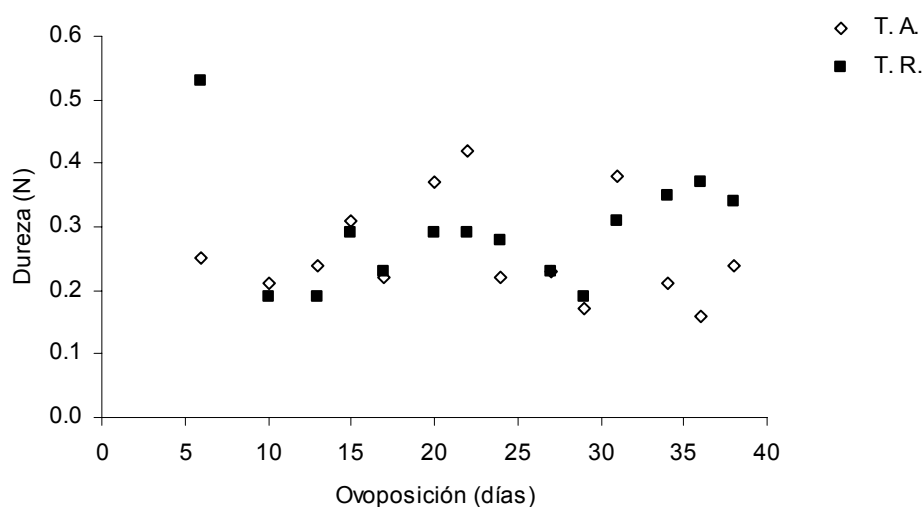


Figura 3.18 Dureza en función a los 38 días de almacenamiento a 22 °C y 4 °C.

Al comparar los valores del Cuadro 3.15 a temperatura ambiente los datos registrados de la dureza van de 0.16 N a 0.42 N con una variación de 0.26 N y a temperatura de refrigeración los valores obtenidos son de 0.19 N a 0.53 N con una variación de 0.34 N; la variación

entre ambas temperaturas muestran una tendencia no lo suficientemente clara en sus valores a mayor tiempo de almacenamiento.

Al aplicar el ANOVA (Cuadro 3.16, Apéndice 1), registró para la temperatura una $P = 0.316$ y para la ovoposición una $P = 0.374$, existiendo así que en ambos casos no hay diferencias significativas. En la comparación de medias (Apéndice 2), se muestran los datos comparativos de la media en la dureza entre la temperatura ambiente y la temperatura de refrigeración en la cual la diferencia entre ellas es de 0.03 N.

En el Apéndice 3 se indica la relación entre los días de ovoposición en la comparación de la media va desde 0.18 N a 0.39 N con una variación entre éstas de 0.21 N.

Cuadro 3.15 Valores de la dureza en la espuma

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente (N)	Temperatura de refrigeración (N)	Media (N)
6	0.25	0.53	0.39
10	0.21	0.19	0.20
13	0.24	0.19	0.22
15	0.31	0.29	0.30
17	0.22	0.23	0.23
20	0.37	0.29	0.33
22	0.42	0.29	0.36
24	0.22	0.28	0.25
27	0.23	0.23	0.23
29	0.17	0.19	0.18
31	0.38	0.31	0.35
34	0.21	0.35	0.28
36	0.16	0.37	0.27
38	0.24	0.34	0.29
Temperatura			Media (N)
4			0.29
22			0.26

En el Cuadro 3.16 se pueden observar los valores de P para los diferentes parámetros de la consistencia de la espuma.

Cuadro 3.16 Valores de P con 95 % de confianza, obtenidos al realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) para la consistencia.

Variables	ESPUMA				
	Consistencia				
	Dureza (N)	Trabajo de penetración (N s)	Fuerza adhesiva (N)	Adhesividad (N s)	Estiramiento (mm)
Temperatura	0.316	0.298	0.516	0.517	0.705
Ovoposición	0.374	0.372	0.328	0.747	0.200

* Si hay diferencias significativas.

3.6.2. Trabajo de penetración

Se obtiene mediante el cálculo del área bajo la curva del pico positivo multiplicada por la velocidad de penetración (1.7 mm/s) (Steffe, 1996; Casas y Ramírez, 2001; Bourne, 2002). En la Figura 3.19 los datos a temperatura de refrigeración intermedios muestran cierta estabilidad (del día 10 al día 27 de almacenamiento), y los días a temperatura ambiente varían con más frecuencia en los 38 días de almacenamiento.

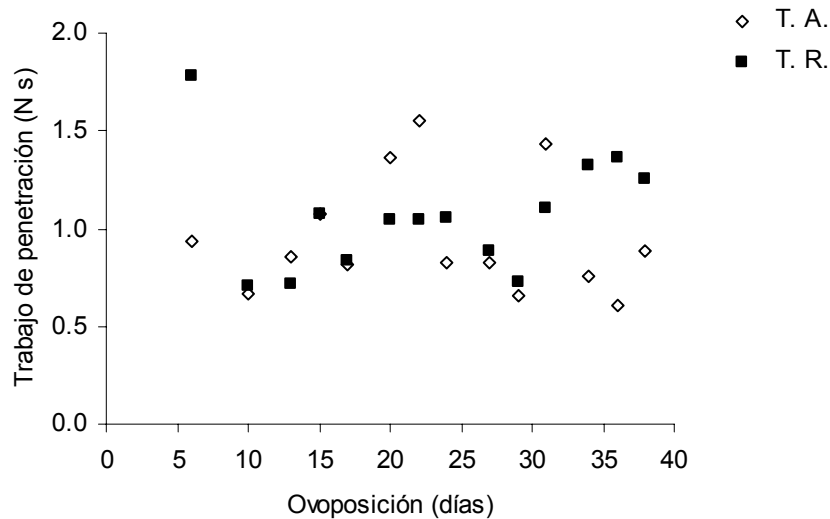


Figura 3.19 Trabajo de penetración en función a los 38 días de almacenamiento a 22 °C y 4 °C.

Al comparar los valores del Cuadro 3.17 a temperatura ambiente los datos registrados del trabajo de penetración van de 0.61 (N s) a 1.55 (N s) con una variación de 0.94 (N s) y a

temperatura de refrigeración los valores obtenidos son de 0.71 (N s) a 1.78 (N s) con una variación de 1.07 (N s).

Al aplicar el ANOVA de dos vías (Cuadro 3.16, Apéndice 1), la temperatura tiene una $P = 0.298$ revelando ausencia de diferencias significativas y en el tiempo de almacenamiento una $P = 0.372$ donde no se encuentran diferencias significativas.

Mientras que entre las temperaturas la comparación de la media en el trabajo de penetración se tiene que a 4 °C se registró un valor de 1.06 (N s) y a 22 °C se registró un valor de 0.95 (N s), con una diferencia entre ellas de 0.11 (N s) (Apéndice 2).

En el tiempo de almacenamiento los valores de la media de este análisis (Apéndice 3), de un valor de 0.69 (N s) a 1.36 (N s), con una variación entre ellos de 0.67 (N s).

Cuadro 3.17 Valores del trabajo de penetración en la espuma

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente (N s)	Temperatura de refrigeración (N s)	Media (N s)
6	0.94	1.78	1.36
10	0.67	0.71	0.69
13	0.86	0.72	0.79
15	1.07	1.07	1.07
17	0.82	0.84	0.83
20	1.36	1.04	1.20
22	1.55	1.04	1.30
24	0.83	1.05	0.94
27	0.83	0.89	0.86
29	0.66	0.73	0.70
31	1.43	1.10	1.27
34	0.76	1.32	1.04
36	0.61	1.36	0.99
38	0.89	1.25	1.07
Temperatura			Media (N s)
4			1.06
22			0.95

3.6.3. Fuerza adhesiva

Se define como la fuerza negativa máxima registrada en la espuma en la prueba de compresión (Steffe, 1996; Casas y Ramírez, 2001; Bourne, 2002). Se puede observar que

entre los 6 días primeros de prueba a temperatura ambiente, hay una tendencia lineal de incremento negativo en los datos, mientras que a temperatura de refrigeración se mantienen en un intervalo casi constante de las mismas muestras (Figura 3.20).

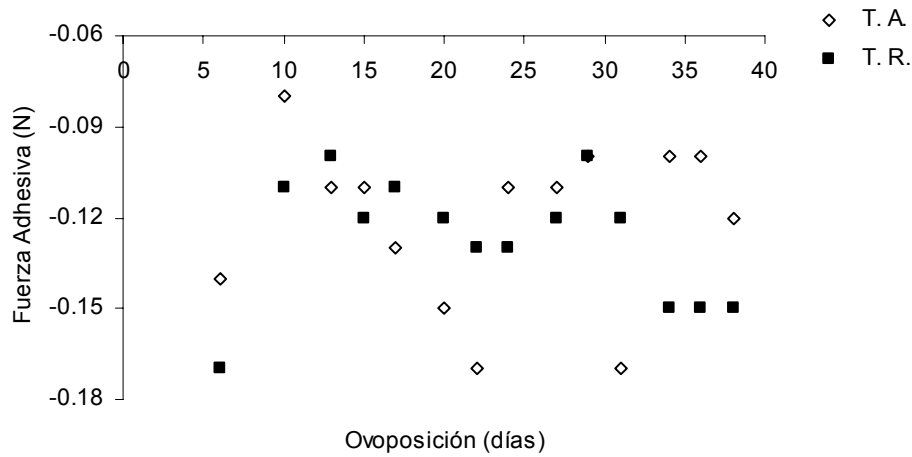


Figura 3.20 Fuerza adhesiva en función a los 38 días de almacenamiento a 22 °C y 4 °C.

Al comparar los valores del Cuadro 3.18 a temperatura ambiente los datos registrados de la fuerza adhesiva van de -0.08 N a -0.17 N con una variación de -0.09 N y a temperatura de refrigeración se visualiza que el valor mínimo fue de -0.10 N hasta un valor de -0.17 N con una variación de -0.07 N.

Cuadro 3.18 Valores de la fuerza adhesiva en la espuma

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente (N)	Temperatura de refrigeración (N)	Media (N)
6	-0.14	-0.17	-0.16
10	-0.08	-0.11	-0.10
13	-0.11	-0.10	-0.11
15	-0.11	-0.12	-0.12
17	-0.13	-0.11	-0.12
20	-0.15	-0.12	-0.14
22	-0.17	-0.13	-0.15
24	-0.11	-0.13	-0.12
27	-0.11	-0.12	-0.12
29	-0.10	-0.10	-0.10
31	-0.17	-0.12	-0.15
34	-0.10	-0.15	-0.13
36	-0.10	-0.15	-0.13
38	-0.12	-0.15	-0.14
Temperatura			Media (N)
4			-0.13
22			-0.12

Al aplicar el ANOVA (Cuadro 3.16, Apéndice 1), registró para la temperatura una $P = 0.516$ y para la ovoposición una $P = 0.328$, existiendo así que en ambos casos no hay diferencias significativas.

En la comparación de medias (Apéndice 2), se muestran los datos comparativos de la media en la fuerza adhesiva entre la temperatura ambiente que fue de -0.13 N y la temperatura de refrigeración con un valor de -0.12 N en la cual la diferencia entre ellas es mínima con un valor de -0.01 N.

En el Apéndice 3 se indica la relación entre los días de ovoposición en la comparación de la media con un valor mínimo de -0.10 N hasta un valor de -0.16 N, existiendo una variación de -0.06 N.

3.6.4. Adhesividad

Definida como el trabajo necesario para vencer las fuerzas atractivas que existen entre la superficie del alimento (espuma) y la superficie de otros materiales con los que entra en contacto (Steffe, 1996; Casas y Ramírez., 2001; Bourne, 2002). La temperatura de refrigeración presenta valores de adhesividad más estables que a la temperatura ambiente, puesto que ésta última llega a tener mayor fluctuación en los diferentes días de ovoposición. (Figura 3.21).

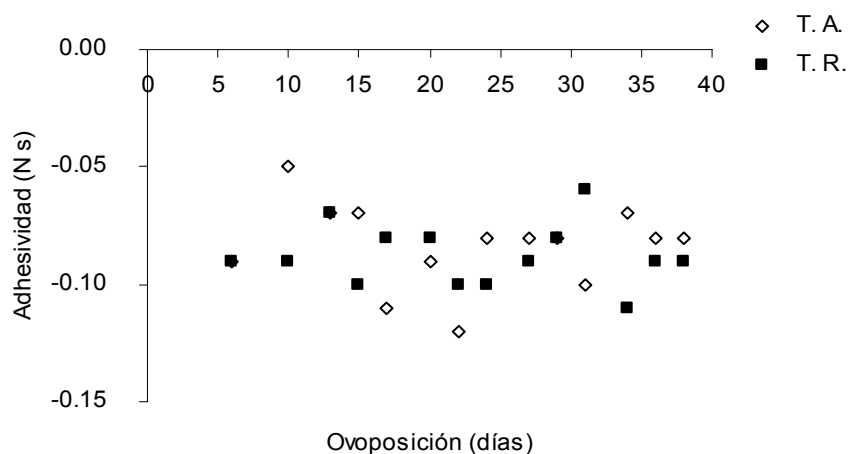


Figura 3.21 Adhesividad en función a los 38 días de almacenamiento a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Al comparar los valores del Cuadro 3.19 a temperatura ambiente los datos de la adhesividad fueron de un valor mínimo de -0.05 (N s) hasta un valor máximo de -0.12 (N s), con una variación de -0.07 (N s) y a temperatura de refrigeración el mínimo fue de -0.06 (N s) mientras que el máximo valor fue de -0.11 (N s), con una variación entre estos datos de -0.05 (N s).

Al aplicar el ANOVA (Cuadro 3.16, Apéndice 1), en la temperatura se obtuvo un valor de $P = 0.517$, esto indica que no hay diferencias significativas en las temperaturas y para los días de ovoposición, el valor de $P = 0.747$, de igual manera no hay diferencias significativas entre ellos.

Cuadro 3.19 Valores de la adhesividad en la espuma

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente (N s)	Temperatura de refrigeración (N s)	Media (N s)
6	-0.09	-0.09	-0.09
10	-0.05	-0.09	-0.07
13	-0.07	-0.07	-0.07
15	-0.07	-0.10	-0.09
17	-0.11	-0.08	-0.10
20	-0.09	-0.08	-0.09
22	-0.12	-0.10	-0.11
24	-0.08	-0.10	-0.09
27	-0.08	-0.09	-0.09
29	-0.08	-0.08	-0.08
31	-0.10	-0.06	-0.08
34	-0.07	-0.11	-0.09
36	-0.08	-0.09	-0.09
38	-0.08	-0.09	-0.09
Temperatura			Media (N s)
4			-0.088
22			-0.084

En el Apéndice 2, al comparar los valores de la media en la adhesividad a las dos temperaturas, teniendo a 4 °C un valor de -0.088 (N s) y a 22 °C un valor de -0.084 (N s) se tuvo una variación mínima de -0.004 (N s).

En el Apéndice 3 se indica la relación entre los días de ovoposición en la comparación de la media con un valor mínimo de -0.07 (N s) y un máximo de -0.11 (N s), con una variación entre ellos de -0.04 (N s).

3.6.5. Estiramiento

Se define como la distancia en la que el producto se extiende durante la descompresión antes de romperse (Steffe, 1996; Casas y Ramírez, 2001; Bourne, 2002). En la Figura 3.22 como en las otras cuatro propiedades anteriores, el estiramiento se encuentra más estable la temperatura de refrigeración en comparación con la temperatura ambiente. La diversidad de resultados en los diferentes días de ovoposición hace difícil un análisis rápido; sin embargo, resulta más fácil mediante la comparación de los valores entre ambas temperaturas.

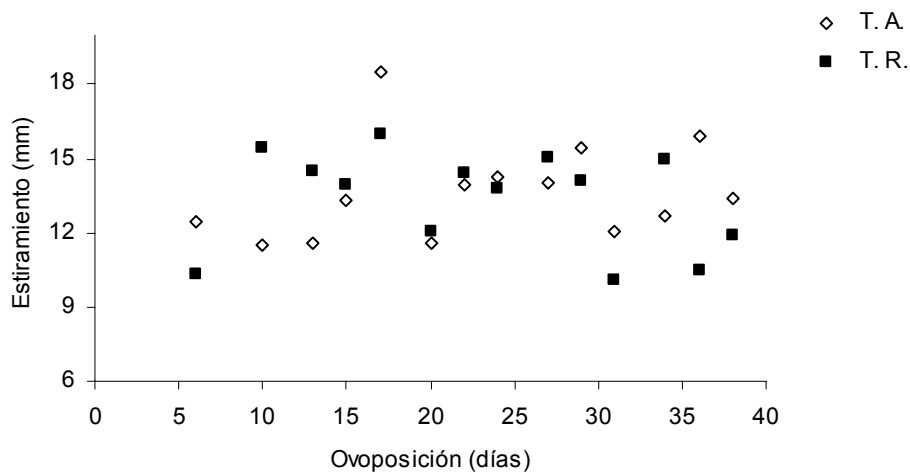


Figura 3.22 Estiramiento en función a los 38 días de almacenamiento a 22 °C y 4 °C.

Al comparar los valores del Cuadro 3.20 a temperatura ambiente los datos registrados del estiramiento fue un mínimo de 11.48 mm a un máximo de 18.47 mm, con una variación de 6.99 mm y a temperatura de refrigeración se registra un valor mínimo de 10.07 mm a un valor máximo de 15.95 mm con una variación de 5.88 mm.

Al aplicar el ANOVA (Cuadro 3.16, Apéndice1), registró para la temperatura una $P = 0.705$ y para la ovoposición una $P = 0.200$, existiendo así que en ambos casos no hay diferencias significativas.

Cuadro 3.20 Valores del estiramiento en la espuma

Días de Ovoposición	Temperatura ambiente (mm)	Temperatura de refrigeración (mm)	Media (mm)
6	12.43	10.31	11.37
10	11.48	15.41	13.45
13	11.56	14.50	13.03
15	13.33	13.95	13.64
17	18.47	15.95	17.21
20	11.55	12.09	11.82
22	13.97	14.45	14.21
24	14.27	13.75	14.01
27	13.99	15.03	14.51
29	15.42	14.13	14.78
31	12.03	10.07	11.05
34	12.70	14.95	13.83
36	15.90	10.45	13.18
38	13.37	11.86	12.62
Temperatura			Media (mm)
	4		13.35
	22		13.61

En la comparación de medias (Apéndice 2), se muestran los datos comparativos de la media en el estiramiento entre la temperatura ambiente con un valor de 13.61 mm y a temperatura de refrigeración un valor de 13.35 mm, la diferencia entre ellas es de 0.26 mm.

En el Apéndice 3 se indica la relación entre los días de ovoposición en la comparación de la media va desde un valor mínimo de 11.05 mm hasta un valor máximo de 17.21 mm con una variación entre ellos de 6.16 mm.

CONCLUSIONES

A través del análisis de varianza realizado, con los datos reportados para P, se concluye que para la clara hay diferencias significativas en cuanto a la densidad relativa a las dos temperaturas y en el pH con respecto a las dos temperaturas y días de ovoposición. En la espuma de la clara al medir la estabilidad a través de transmisión-retrodispersión de luz, en ambas temperaturas se determinó que sí hay diferencias significativas. En los demás parámetros no hubo diferencias significativas.

A mayor tiempo de almacenamiento a temperatura de refrigeración, se observó una ligera disminución de la densidad relativa de la clara, por el efecto de la osmosis que interviene dentro del cascarón entre la yema, la clara densa y la clara líquida. Al no disminuir drásticamente los valores en el periodo de 38 días, no se vio afectada su capacidad espumante, por lo que es poco probable que la globulina responsable de la espuma formada haya sido afectada.

El pH aún con sus variaciones, ya que entran en lo reportado bibliográficamente donde refiere que el pH de la clara puede aumentar de 7.5 a 9.5 (Navarro, 1995), no afectó la capacidad espumante de la clara de huevo, ya sea refrigerada o a temperatura ambiente a los 38 días de ovoposición.

A temperatura de refrigeración se obtuvo un mayor rendimiento de espuma por el número de claras ocupadas en función al volumen de espuma producido, pero menor estabilidad.

Con respecto a la densidad de la espuma a temperatura ambiente, hubo una pérdida mayor de agua a través del tiempo de almacenamiento que a temperatura de refrigeración, la cual presentó una densidad más constante. Aún con la variación que fue muy baja entre ambas, no se vio afectada la capacidad espumante.

La estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz en la espuma formada, fue mayor a temperatura ambiente que a temperatura de refrigeración, ya que a menor temperatura

menor estabilidad. Esto se vio tanto en los valores del espesor de drenado en un minuto, así como el tiempo de inicio de drenado.

En la estabilidad por velocidad de drenado en copas graduadas a temperatura ambiente, se observó un comportamiento de mayor estabilidad, con un tiempo medio de inicio de drenado de 13.8 minutos, mientras que a temperatura de refrigeración, las muestras drenaron antes (12.6 min), teniendo así una menor estabilidad. En la velocidad de drenado y en el volumen de drenado en un minuto, no hay una tendencia clara de las curvas. Sin embargo, en estos tres parámetros no se registraron diferencias significativas.

Al hacer una comparación entre los dos métodos para estudiar la estabilidad de la espuma de la clara de huevo (estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz y estabilidad por velocidad de drenado en copas graduadas), los datos obtenidos en ambos casos son semejantes, sin embargo en el espesor de drenado en un minuto y en el tiempo de inicio de drenado hubo diferencias significativas; mientras que con el otro análisis de la estabilidad no hubo diferencia significativa alguna. Se recomienda hacer la experimentación con un número mayor de repeticiones en el caso de la estabilidad por transmisión-retrodispersión, para corroborar los resultados.

La consistencia de la espuma, se vio poco afectada por la disminución de la temperatura, en los cinco diferentes parámetros (dureza, trabajo de penetración, fuerza adhesiva, adhesividad y estiramiento). En éstos la espuma a la temperatura de refrigeración no mostró mejor consistencia que a temperatura ambiente, ya que las variaciones entre ellas fueron milésimas.

Se recomienda que para aplicaciones de la clara de huevo en productos alimenticios, la textura óptima reportada es obtenida después de 14 días de almacén a 4 °C (Hammershoj y col., 2002). En todos los casos la prueba última estriba en comprobar cómo se comporta la espuma cuando es incorporada al propio alimento.

En conclusión, contestando las preguntas que dieron origen a esta tesis si ¿es o no justificable el gasto en electricidad refrigerándolo contra las pérdidas por descomposición? y ¿qué tanto afecta en la propiedad espumante al refrigerarlo en un plazo no mayor de 40 días?

Respondiendo a la primer pregunta, el consumo de huevo en cáscara, tanto en casa, comercio o a nivel industria, no sobrepasa los 14 días de almacenamiento; no es gravoso el gasto en electricidad porque el medio utilizado para enfriarlo, no sólo se usa para este propósito; al mantenerlo a temperatura ambiente por más de este lapso de tiempo puede provocar pérdidas, ya que puede empezar una descomposición por efecto microbiano, como se mostró en el capítulo dos en el Cuadro 2.2, después de este tiempo se fueron desechando huevos por estar en mal estado. No se podría recomendar hacer la experimentación a mayor tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente por este simple hecho.

En respuesta de la segunda pregunta, la capacidad espumante se ve poco afectada por efecto de la temperatura, aunque se obtiene una mejor consistencia a temperatura de refrigeración, su estabilidad es baja a comparación de la temperatura ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Adamson A. W., Gast A. P. (1997). *Physical chemistry of surfaces*. 6th ed. John Wiley, New York, USA.
- Alais Ch., Linden G. (1991). *Food biochemistry*. Ellis Horwood, England.
- Applegate, E. (2000). *Introduction: Nutritional and functional roles of eggs in the diet*. Washington DC: National Academic Press, USA.
- Austic R. E., Nesheim M. C. (1990). *Poultry production*. 30th ed. Lea & Febiger, Philadelphia, London.
- Badui S. D. (2006). *Química de los alimentos*. 4^a ed. Pearson Educación de México, D. F.
- Benavent A. J. L. (1996). *Procesos de elaboración de alimentos*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Berardinelli A., Donati V., Giunchi A., Guarnieri A., Ragni L. (2003). Effects of transport vibrations on quality indices of shell eggs. *Biosystems Engineering*, 86 (4): 495-502.
- Bourgeois C. M., Mescle J. M., Zucca J. (1996). *Microbiología alimentaria. Aspectos microbiológicos de la seguridad y calidad alimentaria*. Vol. 1. Acribia S. A., Zaragoza, España.
- Bourne C. M. (2002). *Food texture and viscosity*. 2^a ed. Food science and technology. International series. Academic Press.
- Cambón. C. C., Martín de F. M., y Rodríguez M. E. (2004). *Ciencia con buen gusto*. V Feria Madrid por la Ciencia, Consejería de Educación de la CAM-Editorial SM. pp 184-185. <http://www.telefonica.net/.../ESPUMAGASTRONOMICA.htm>
- Carvajal A. (2006). Calidad nutricional de los huevos y relación con la salud. *Revista de Nutrición Práctica*, 10: 73-76.
- Casas A. N., Olivares R. A. (1995). Estudio del efecto de hidrocoloides en la estabilización de espumas de proteínas empleadas en alimentos. *Tecnología de Alimentos*, 26 (5): 22-28.
- Casas A. N. y Ramírez O. E. (2001). *Textura de alimentos. Reología y textura de materiales biológicos. Módulo III Seminario de titulación para la carrera de Ingeniería en Alimentos*. LAPRYFAL FES CUAUTITLÁN UNAM, México.

- Cherian G., Wolfe F. H., Sim J.S. (1996). Feeding dietary oils tocopherols: Effects on internal qualities of eggs during storage. *Journal of Food Science*, 61 (1): 15-18.
- Coenders A. (2001). *Química Culinaria*. Acribia S. A., Zaragoza, España.
- Creus S. A. (2006). *Instrumentación industrial*. 7ª ed. AlfaOmega, Marcombo, México.
- Croguennec T., Nau F., Brule G. (2002). Influence of pH and salts on egg white gelation *Journal of Food Science*. 67 (2): 608-614.
- Cunningham F. E. (1976). *Properties of egg white foam drainage*. Poultry Science.
- Damodaran S., Parkin K. L., Fenemma O. R. (2008). *Food chemistry*. 4th ed. CRC Press Boca Raton, FL.
- Dickinson E. (1987). *Food emulsions and foams*. Royal Society of Chemistry, Editorial UK, Cambridge, London.
- Dickinson E., Miller R. (2001). *Food colloids fundamentals of formulation*. Royal Society of Chemistry, Editorial UK, Cambridge, London.
- Edicions Universitat de Barcelona (2004). *Tablas de composición de alimentos del CESNID*. McGraw-Hill-Interamericana, España.
- Edid M. (2010). *Características de los alérgenos más importantes en el huevo*. http://nutricionpersonalizada.wordpress.com//alergenos_huevo/2010/01/07.
- Fennema O. R. (1982). *Introducción a la ciencia de los alimentos*. Reverté S. A. España.
- Frazier W. C., y Westhoff D. C. (1993). *Microbiología de los alimentos*. Acribia S. A., Zaragoza, España.
- Grima C. P., Almagro M, L, Llabrés T. X. (2004). *Estadística práctica con Minitab 14*. Pearson Prentice Hall, (Pearson Educación).
- Hammershoj M. Larsen L. B., Andersen A. B., Qvist K. B. (2002). Storage of shell eggs influences the albumen gelling properties. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 35 (8); 62-69.
- Holman J. P., Gajda W. J. (1990). *Métodos experimentales para ingenieros*. 4ª ed. Mc.Graw-Hill, New York, EUA.
- Huntington J. A., Stein P. E. (2001). Structure and properties of ovalbumin. *Journal of Chromatography B*. 756(1-2): 189-198.
- Kramer, A., Szczesniak A. S. (1973). *Texture measurement of foods*. Dordrecht, D. Reidel, Publishing Co., Holanda.

- Lewis M. J. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado*. Acribia, Zaragoza, España.
- McGee H. (2004). *On food and cooking*. Edición británica Hodder & Stoughton 2ª ed. Londres.
- Mc William M. (1995). *Food fundamentals*. 6th ed. Plycon Press, Redondo Beach, CA.
- Moeller S. M., Jacques P. F., Blumberg J. B. (2000). The potential role of dietary xanthophylls in cataract and age-related macular degeneration. *Journal of the American College of Nutrition*. 19 (5): 522-527.
- Montgomery C. D. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamericano S.A. de C.V., México, D. F.
- Moreiras O., Carbajal A., Cabrera L., Cuadrado C. (2010). *Tablas de composición de Alimento*. 8ª ed. Pirámide Madrid, España.
- Munguia L. J. (1993). Condiciones de operación en la pasteurización HTST de huevo entero líquido. Tesis Ingeniería en Alimentos, FES CUAUTITLAN UNAM.
- Muñoz M. E., Silva, P. C. M. (1995). Efectos de las propiedades reológicas de la fase continua en el rendimiento y estabilidad de espumas de proteínas estabilizadas con polisacáridos. Tesis Ingeniería en Alimentos, FES CUAUTITLAN UNAM.
- Navarro V. M. (1995). Pretratamientos de productos de huevo. *Tecnología de alimentos* 30 (1): 24-32.
- NOM-159-SSA1-1996, Bienes y servicios. Huevo, sus productos y derivados. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Norma Oficial Mexicana.
- Ortega R. M., Quintas M. E., López-Sobaler A. M., Navia B., Requejo A. M. (1997). Ingesta de alimentos, energía y nutrientes en jóvenes de sexo femenino en función de su consumo de huevos. Repercusión en los parámetros lipídicos cuantificados en suero. *Nutrición Clínica*. (17): 31-37.
- Ortega R. M. (1998). El huevo en el contexto de la dieta mediterránea. *Nutrición Clínica*, (18): 34-37.
- Ould E. M. M., Gunasekaran S. (2002). Gelling properties of egg white produced using a conventional and a low-shear reverse osmosis process. *Journal of Food Science* 67 (2): 725-729.

- Pelayo M. (2007). Precauciones sanitarias para huevos. http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad_y_consumo//28786.php 2007/09/07.
- Pérez L. C. (2002). *Estadística aplicada a través de EXCEL*. Prentice Hall–Pearson Educación S.A. Madrid, España.
- Philipps L. G., Whithead D. M., Kinsella J. (1994). *Structure – Function properties of food proteins*. Academia Press, San Diego, USA.
- Rainhard F., Hans, W. J., Strecker O. (1968). *Huevos: Planificación comercial manual práctico para la recogida, preparación comercial y venta*. Acribia S. A., Zaragoza, España.
- Ramírez R. M. L. (1996). Aplicación de sustitutos de albúmina de huevo en productos de panadería y confitería. Tesis Ingeniería en alimentos, FES CUAUTITLAN UNAM.
- Rangi L., Al-Shami A., Mikhaylenko G., Juming T. (2007). Dielectric characterization of hen eggs during storage. *Journal of Food Engineering*. 82, 450-459.
- Roudot A. C. (2004). *Reología y análisis de la textura de los alimentos*. Acribia S. A. Zaragoza, España.
- Salager J. L., Andérez J. M. y Forgiarini A. (1999). Les mousses - Influence de la formulation physico-chimique, in *Les Mousses: Moussage et démousage*. S. Lagerge, Ed., Cahier de Formulation vol. 9, pp. 58-91, EDP Sciences, Paris France. Traducido por María Gabriela Molina B. http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S263_Espumas.pdf
- Sauveur B. (1988). *Reproduction des voluilles et production d'oeufs*. Institut National de la Recherche Agronomique. París.
- Sauveur B. (1993). *El huevo para consumo: bases productivas*. Mundi-Prensa Madrid España.
- Sim J. S., Nakai S. (1994). *Egg uses and processing technologies*. CAB International, UK, USA.
- Stadelman W. J., Cotterill J. O. (1977). *Eggs science and technology*. 2th AVI Publishing Company, Inc. USA.
- Steffe F. J. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. Freeman Press. USA.

- Unda C. T., (2011). Tensoactivos. Fenómenos de superficie y equilibrio de interfases.
<http://depa.fquim.unam.mx/~tunda/Espum.html>
- Vaclavik V.A., Christian E. W. (2002). *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. Acribia S. A, Zaragoza, España.
- Vanaclocha A. C., Requema J. A. (2003). *Procesos de la conservación de alimentos*. 2ª ed. Coedición Mundo Prensa y A. Madrid, Vicente.
- Verdú J. M. (2003). *Tabla de composición de alimentos corregida y aumentada*. 4ª ed. Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Universidad de Granada, España.
- Wilson A. J. (1999). Foams - physics, chemistry and structure. *Journal of Colloid and Interface Science*. 215 (2): 323-332.

APÉNDICE 1

Análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para las diferentes propiedades de la clara y de la espuma de la clara.

Densidad relativa de la clara					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	0.0002285	0.0002285	18.30	0.001
Ovoposición	14	0.0002160	0.0000154	1.24	0.349
Error	14	0.0001748	0.0000125		
Total	29	0.0006193			

pH de la clara					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	1.31671	1.31671	263.80	0.000
Ovoposición	14	0.38841	0.02774	5.56	0.001
Error	14	0.06988	0.00499		
Total	29	1.77500			

Densidad de la espuma					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	0.0001815	0.0001815	0.14	0.714
Ovoposición	14	0.0115555	0.0008254	0.64	0.795
Error	14	0.0181096	0.0012935		
Total	29	0.0298466			

Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz - Velocidad de drenado					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	3.758	3.758	3.69	0.084
Ovoposición	10	8.987	0.899	0.88	0.577
Error	10	10.191	1.019		
Total	21	22.936			

Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz - Espesor de drenado en un minuto					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	60.882	60.882	7.92	0.018
Ovoposición	10	83.311	8.331	1.08	0.450
Error	10	76.832	7.683		
Total	21	221.025			

Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz - Tiempo de inicio de drenado					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	995.02	995.02	22.07	0.001
Ovoposición	10	1296.00	129.600	3.00	0.049
Error	10	432.68	43.268		
Total	21	2683.71			

Estabilidad por copas - Velocidad de drenado					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	6.4334	6.43339	2.47	0.138
Ovoposición	14	29.6912	2.12080	0.81	0.647
Error	14	36.4457	2.60326		
Total	29	72.5703			

Estabilidad por copas - Volumen de drenado en un minuto					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	20.883	20.8834	1.06	0.320
Ovoposición	14	197.794	14.1282	0.72	0.728
Error	14	275.226	19.6590		
Total	29	493.901			

Estabilidad por copas - Tiempo de inicio de drenado					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	12.429	12.4292	3.45	0.084
Ovoposición	14	42.664	3.0474	0.85	0.621
Error	14	50.465	3.6046		
Total	29	105.558			

Consistencia - Dureza					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	0.007232	0.0072321	1.09	0.316
Ovoposición	13	0.103846	0.0079882	1.20	0.374
Error	13	0.086618	0.0066629		
Total	27	0.197696			

Consistencia - Trabajo de penetración					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	0.09373	0.0937286	1.18	0.298
Ovoposición	13	1.24644	0.0958802	1.20	0.372
Error	13	1.03687	0.0797593		
Total	27	2.37704			

Consistencia - Fuerza adhesiva					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	0.0002286	0.0002286	0.45	0.516
Ovoposición	13	0.0085857	0.0006604	1.29	0.328
Error	13	0.0066714	0.0005132		
Total	27	0.0154857			

Consistencia - Adhesividad					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	0.0001286	0.0001286	0.44	0.517
Ovoposición	13	0.0025857	0.0001989	0.69	0.747
Error	13	0.0037714	0.0002901		
Total	27	0.0064857			

Consistencia - Estiramiento					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	1	0.455	0.45518	0.15	0.705
Ovoposición	13	63.533	4.88719	1.61	0.200
Error	13	39.416	3.03201		
Total	27	103.405			

Origen = Indica los factores en estudio, el error y el total entre estos.

DF = Grados de Libertad

SS = Suma de Cuadrados

MS = Media de Cuadrados

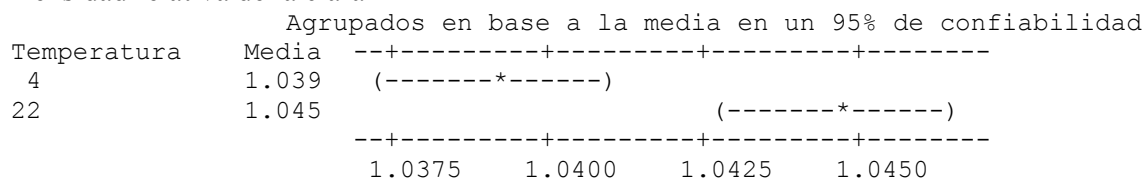
F = Factor obtenido al dividir la MS entre el error de la MS

P = Factor de significancia; si $P \leq 0.05$ *sí* hay diferencia significativa, si $P \geq 0.05$ *no* hay diferencia significativa, con un $\alpha = 0.05$ ó 95 %

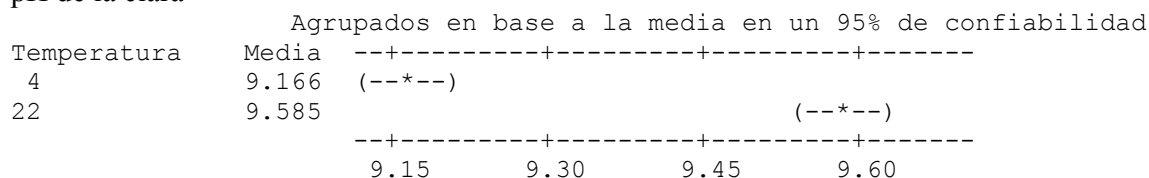
APÉNDICE 2

Comparación de la media de entre las propiedades de la clara y de la espuma de la clara entre la temperatura ambiente y la temperatura de refrigeración.

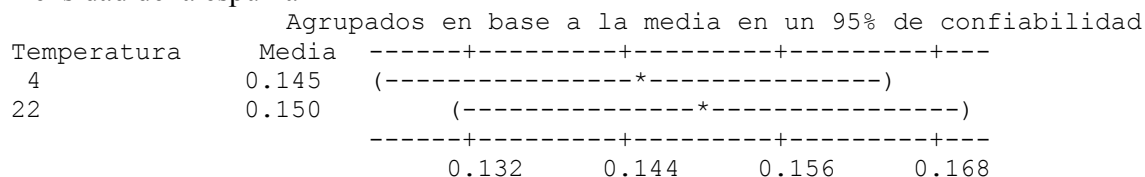
Densidad relativa de la clara



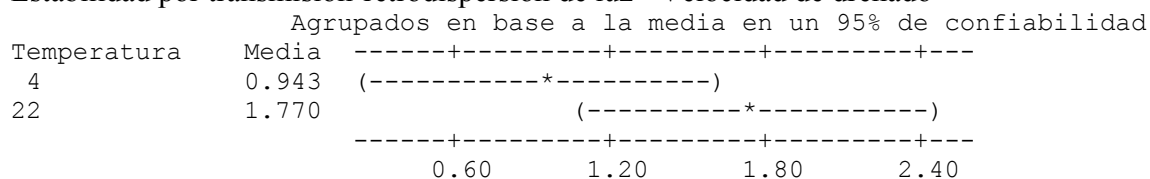
pH de la clara



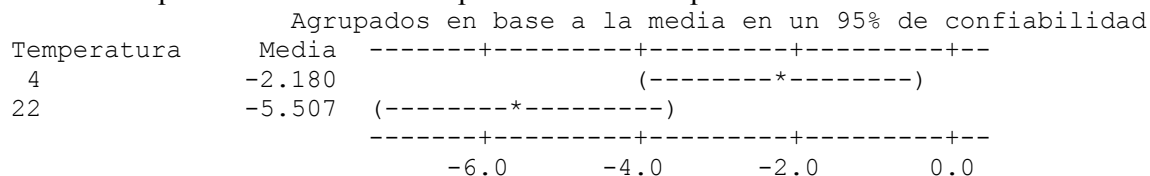
Densidad de la espuma



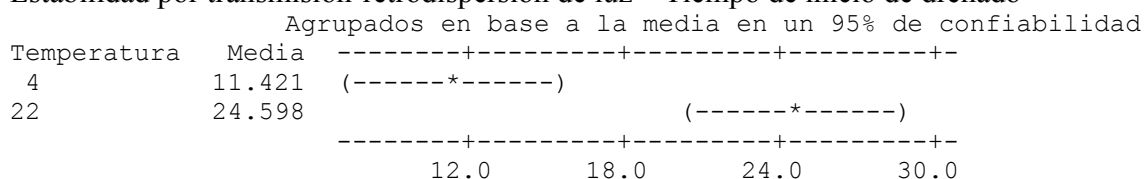
Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz - Velocidad de drenado



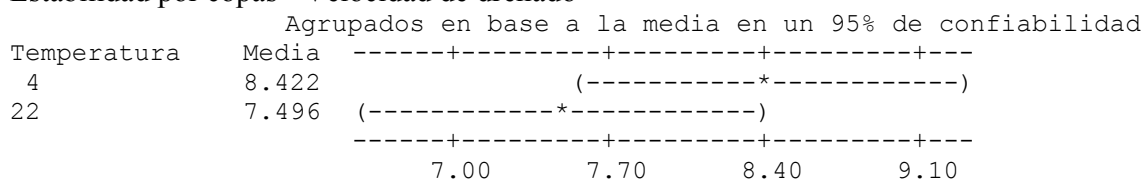
Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz - Espesor de drenado en un minuto



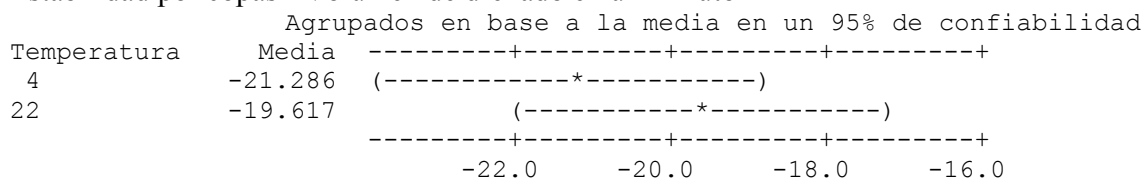
Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz – Tiempo de inicio de drenado



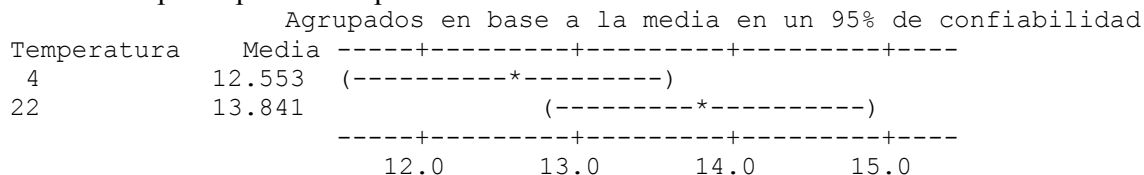
Estabilidad por copas - Velocidad de drenado



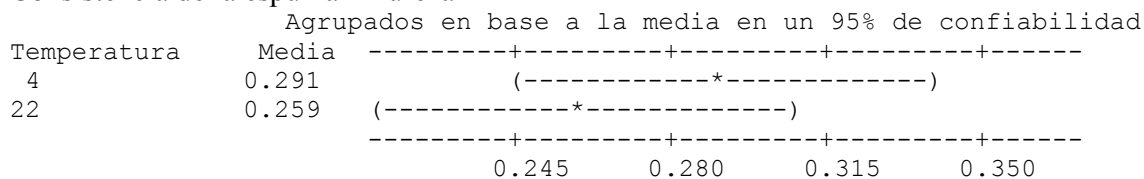
Estabilidad por copas - Volumen de drenado en un minuto



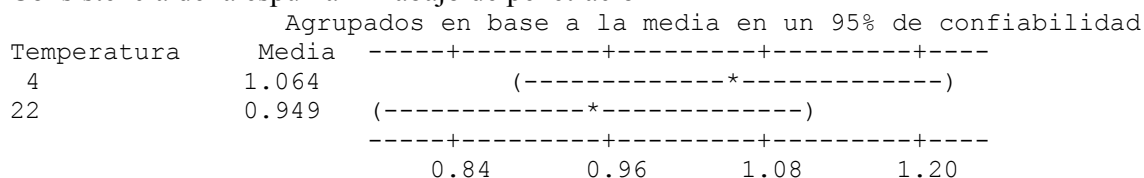
Estabilidad por copas – Tiempo de inicio de drenado



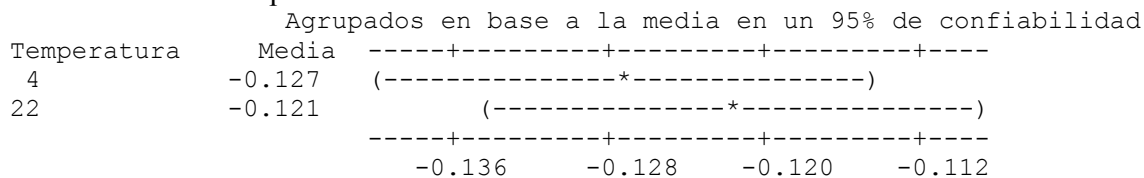
Consistencia de la espuma - Dureza



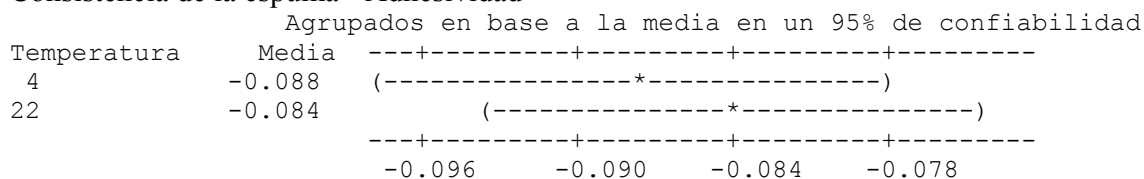
Consistencia de la espuma - Trabajo de penetración



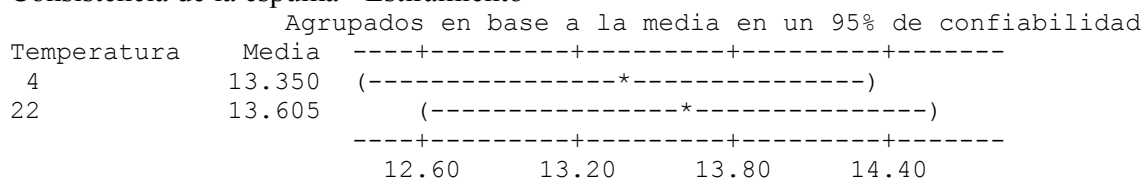
Consistencia de la espuma - Fuerza adhesiva



Consistencia de la espuma - Adhesividad



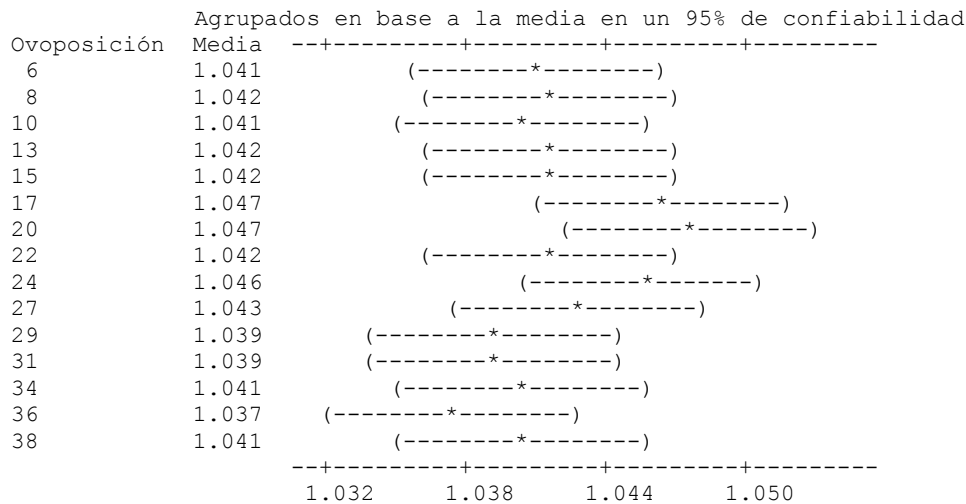
Consistencia de la espuma - Estiramiento



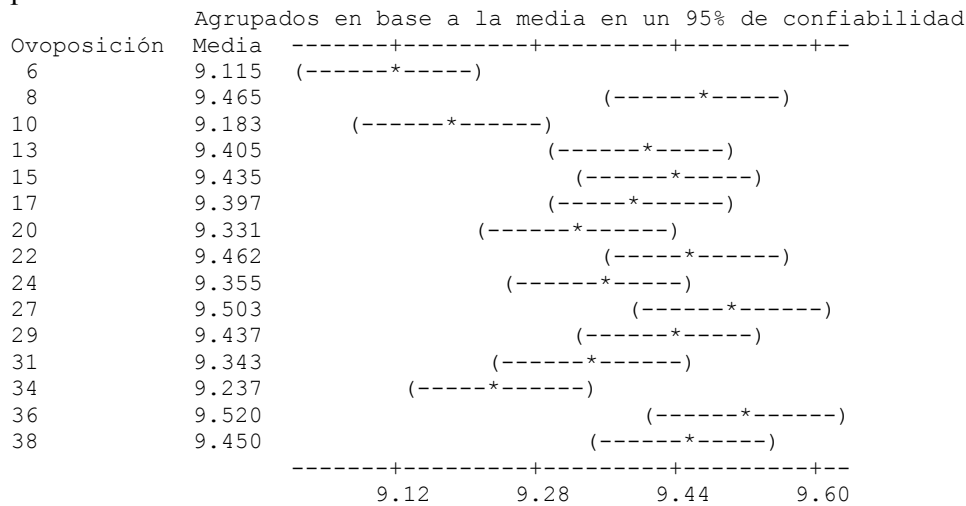
APÉNDICE 3

Comparación de la media entre las propiedades de la clara y su espuma en los días de ovoposición.

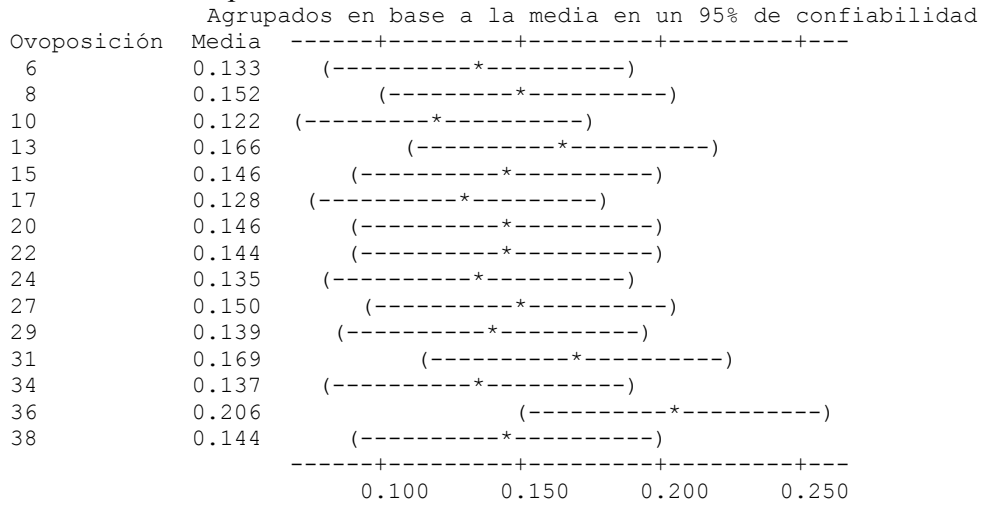
Densidad relativa de la clara



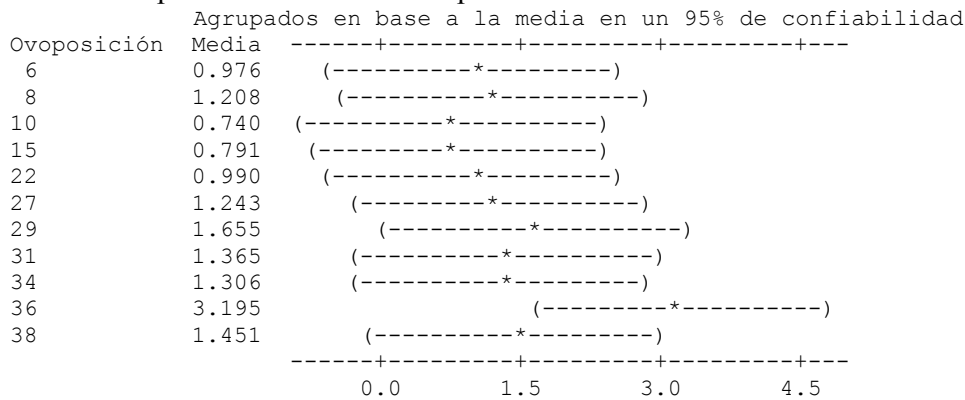
pH de la clara



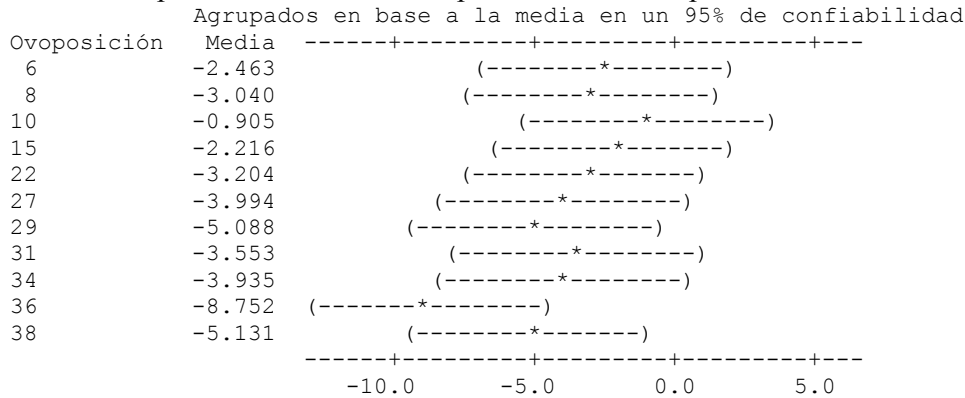
Densidad de la espuma



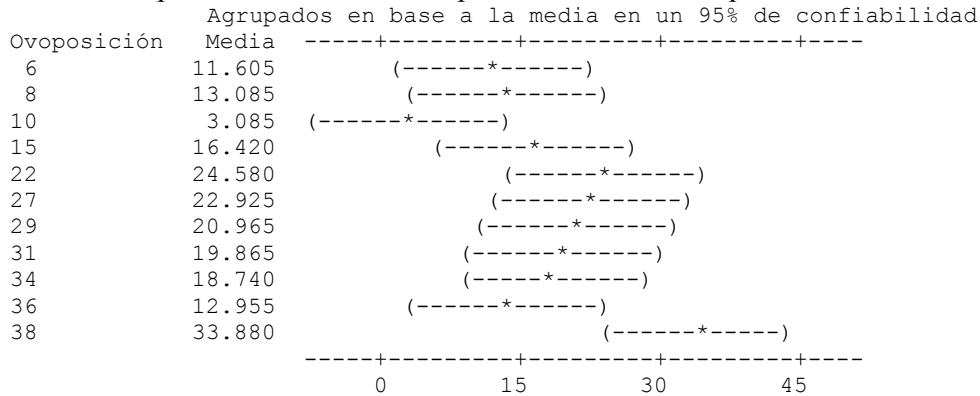
Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz - Velocidad de drenado



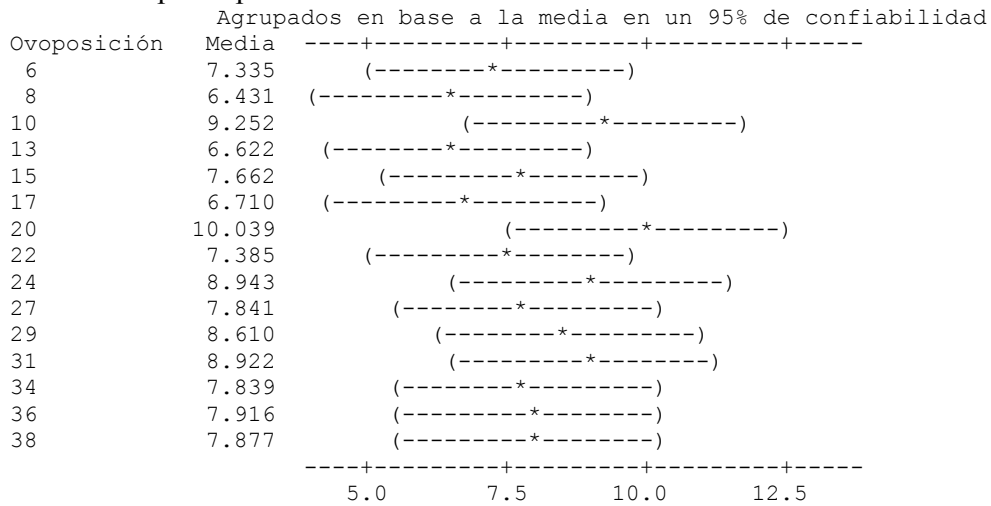
Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz - Espesor de drenado en un minuto



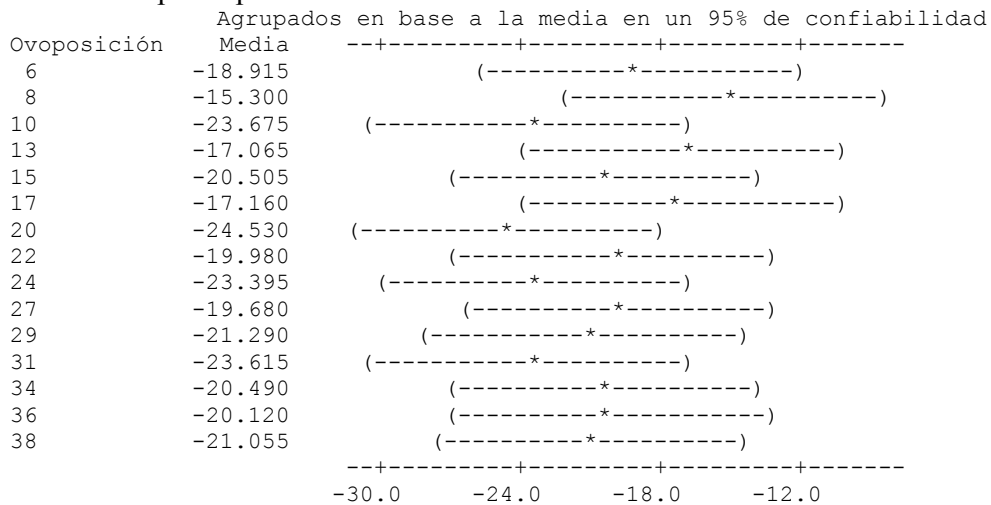
Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz – Tiempo de inicio de drenado



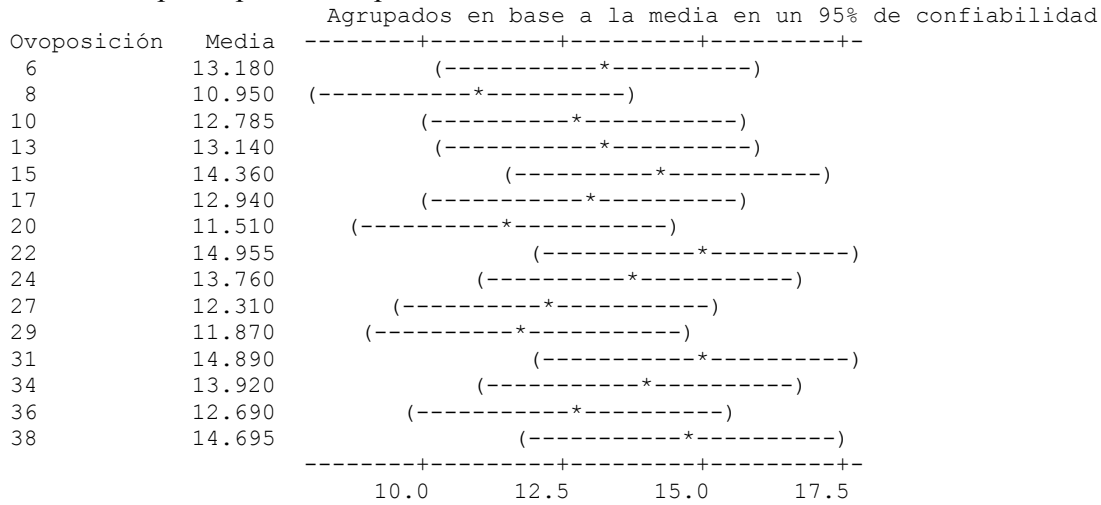
Estabilidad por copas - Velocidad de drenado



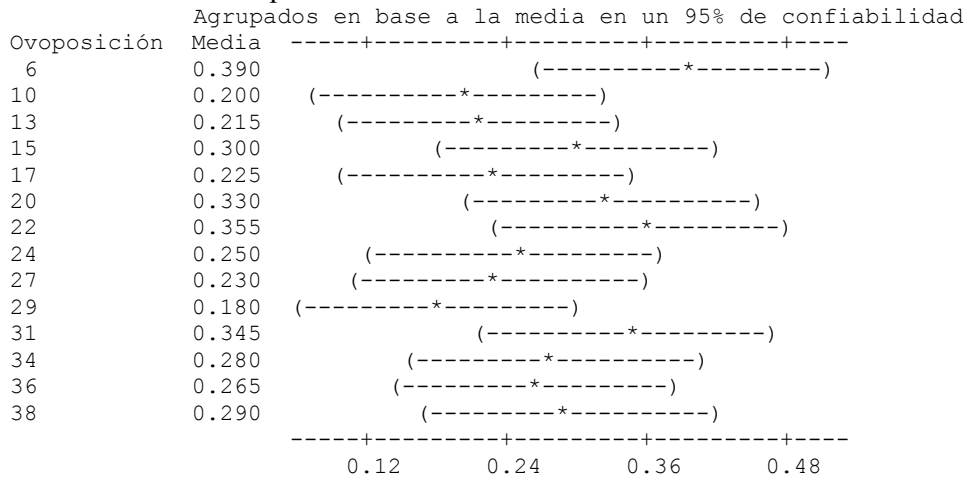
Estabilidad por copas - Volumen de drenado en un minuto



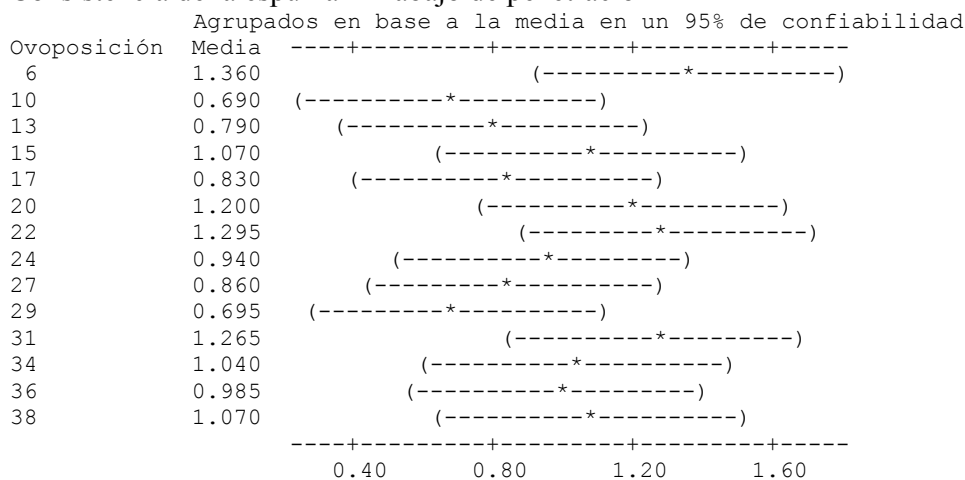
Estabilidad por copas – Tiempo de inicio de drenado



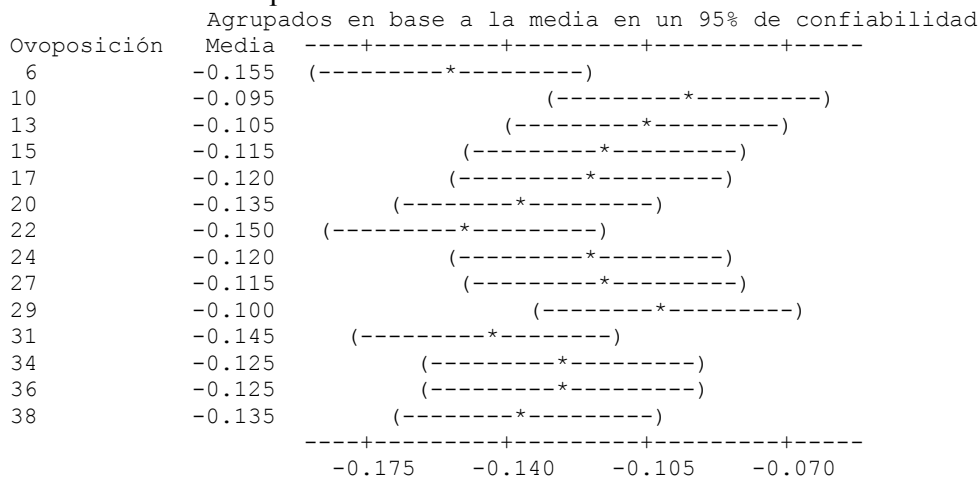
Consistencia de la espuma - Dureza



Consistencia de la espuma - Trabajo de penetración



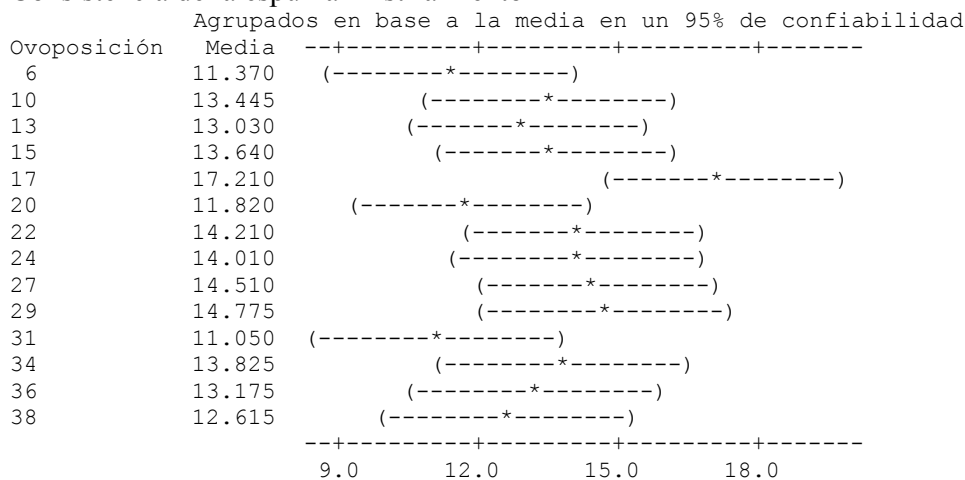
Consistencia de la espuma - Fuerza adhesiva



Consistencia de la espuma - Adhesividad



Consistencia de la espuma - Estiramiento



APÉNDICE 4

Valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación (%) de los diferentes parámetros de la clara de huevo y de la espuma de clara de huevo.

Densidad relativa de la clara		
	Temperatura Ambiente 22 °C	Temperatura de Refrigeración 4 °C
Promedio	1.045	1.040
Desviación estándar	0.004	0.004
Coeficiente de variación	0.359	0.358

pH		
	Temperatura Ambiente 22 °C	Temperatura de Refrigeración 4 °C
Promedio	9.585	9.166
Desviación estándar	0.126	0.130
Coeficiente de variación	1.318	1.413

Densidad de la espuma		
	Temperatura Ambiente 22 °C	Temperatura de Refrigeración 4 °C
Promedio	1.045	1.039
Desviación estándar	0.004	0.004
Coeficiente de variación	0.359	0.358

Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz - Velocidad de drenado		
	Temperatura Ambiente 22 °C	Temperatura de Refrigeración 4 °C
Promedio	1.770	0.943
Desviación estándar	1.338	0.357
Coeficiente de variación	75.61	37.88

Estabilidad por transmisión-retrodispersión de luz - Espesor de drenado en un minuto		
	Temperatura Ambiente 22 °C	Temperatura de Refrigeración 4 °C
Promedio	5.507	2.180
Desviación estándar	3.865	1.037
Coeficiente de variación	70.18	47.56

Estabilidad por transmisión-retrodispersión - Tiempo de inicio de drenado		
	Temperatura Ambiente 22 °C	Temperatura de Refrigeración 4 °C
Promedio	24.59	11.47
Desviación estándar	11.15	6.94
Coeficiente de variación	0.454	0.605

Estabilidad por copas - Velocidad de drenado		
	Temperatura Ambiente 22 °C	Temperatura de Refrigeración 4 °C
Promedio	8.146	9.029
Desviación estándar	1.323	1.743
Coeficiente de variación	16.24	19.31

Estabilidad por copas - Volumen de drenado en un minuto		
	Temperatura Ambiente	Temperatura de Refrigeración
	22 °C	4 °C
Promedio	21.11	22.60
Desviación estándar	3.824	4.464
Coefficiente de variación	18.12	19.76

Estabilidad por copas - Tiempo de inicio de drenado		
	Temperatura Ambiente	Temperatura de Refrigeración
	22 °C	4 °C
Promedio	13.84	12.55
Desviación estándar	2.327	1.111
Coefficiente de variación	0.168	0.088

Consistencia de la espuma - Dureza		
	Temperatura Ambiente	Temperatura de Refrigeración
	22 °C	4 °C
Promedio	0.259	0.291
Desviación estándar	0.080	0.091
Coefficiente de variación	30.76	31.24

Consistencia de la espuma - Trabajo de penetración		
	Temperatura Ambiente	Temperatura de Refrigeración
	22 °C	4 °C
Promedio	0.949	1.064
Desviación estándar	0.297	0.296
Coefficiente de variación	31.28	27.81

Consistencia de la espuma - Fuerza adhesiva		
	Temperatura Ambiente	Temperatura de Refrigeración
	22 °C	4 °C
Promedio	-0.121	-0.127
Desviación estándar	0.027	0.021
Coefficiente de variación	-22.35	-16.45

Consistencia de la espuma - Adhesividad		
	Temperatura Ambiente	Temperatura de Refrigeración
	22 °C	4 °C
Promedio	-0.084	-0.088
Desviación estándar	0.018	0.013
Coefficiente de variación	-21.31	-14.93

Consistencia de la espuma - Estiramiento		
	Temperatura Ambiente	Temperatura de Refrigeración
	22 °C	4 °C
Promedio	13.61	13.35
Desviación estándar	1.975	2.005
Coefficiente de variación	14.51	15.02