



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

**Facultad de Estudios Superiores  
Cuautitlán**

“PRUEBAS TEXTURALES Y DE ESTABILIDAD EN  
CREMAS BATIDAS COMERCIALES”

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERA EN ALIMENTOS**  
**P R E S E N T A**  
**LUISA VICTORIA NEME SERVÍN**

*Aseoras: IBQ. Norma Beatriz Casas Alencáster  
Dra. Laura Patricia Martínez Padilla*



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ  
Jefe 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 :

Pruebas texturales y de estabilidad en cremas batidas comerciales.

que presenta la pasante: Luisa Victoria Neme Servín.  
con número de cuenta: 40602480-8 para obtener el título de :  
Ingeniería en Alimentos

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

A T E N T A M E N T E

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 03 de Noviembre de 2010.

PRESIDENTE	IBQ. Norma Beatriz Casas Alencaster	
VOCAL	IA. Francisco Javier López Martínez	
SECRETARIO	MC. Leticia Zúñiga Gómez	
PRIMER SUPLENTE	MC. Julieta González Sánchez	
SEGUNDO SUPLENTE	IA. Miriam Edith Fuentes Romero	

## *Un profundo agradecimiento...*

- ☞ A Jehová Dios, por darme la vida y la sabiduría necesaria para utilizar mis talentos, habilidades y energías de una manera que redunde en honra para el Creador (Prov. 27: 11)
  
- ☞ A mis padres, porque siempre he tenido su apoyo incondicional y porque gracias a su excelente ejemplo y a la enseñanza que me han dado puedo caminar en la vereda que lleva a la verdadera felicidad (Prov. 22:6).
  
- ☞ A mis hermanos, porque sin ellos mi vida sería muy aburrida, por las alegrías, enojos y travesuras que hemos compartido (Prov. 17:17).
  
- ☞ A los buenos maestros, por transmitirme su entusiasmo y amor por el conocimiento y a los malos maestros, por enseñarme a ser autosuficiente.
  
- ☞ A los excelentes maestros, porque tuve el privilegio de que fueran mis asesoras, las mejores que pude tener y porque también han llegado a ser un ejemplo en mi vida (Mat. 10:24,25)
  
- ☞ A las chicas de la universidad, por su maravillosa amistad, por las risas y lágrimas que juntas compartimos (Prov. 18:24)
  
- ☞ A mi escuela, la UNAM, por permitirme tener un lugar en sus aulas y obtener una formación profesional, por ser una de las mejores escuelas del mundo.

*"El principal objeto de la educación no es el de enseñarnos a ganar el pan, sino en capacitarnos para hacer agradable cada bocado."*

*Anónimo*

*"La constancia es la virtud por la que todas las cosas dan su fruto."*

*Arturo Graf*

*"Hay que tener aspiraciones elevadas, expectativas moderadas y necesidades pequeñas."*

*H. Stein*

# ÍNDICE GENERAL

Resumen

Introducción

1. Antecedentes	1
1.1. Crema batida	1
1.1.1. Definición y tipos de crema batida	1
1.1.2. Formación y procesamiento de una crema batida	3
1.1.2.1. Descripción general del proceso de elaboración	3
1.1.2.2. Evolución estructural y cambios durante el batido	5
1.1.3. Microestructura de las cremas batidas	8
1.1.4. Ingredientes en una crema batida	11
1.1.4.1. Lípidos	12
1.1.4.2. Proteínas	14
1.1.4.3. Emulsificantes de bajo peso molecular	15
1.1.4.4. Polisacáridos estabilizantes	17
1.1.5. Estabilidad de una crema batida	17
1.1.6. Bases de crema para batir	19
1.1.7. Influencia del tratamiento térmico de la emulsión base	20
1.1.8. Temperado de la crema batida	21
1.1.9. Aplicaciones industriales de la crema batida	23
1.2. Pruebas reológicas, texturales y de estabilidad en emulsiones y espumas	24
1.2.1. Propiedades mecánicas y su medición	24
1.2.2. Caracterización reológica de bases de crema para batir y cremas batidas	27
1.2.3. Pruebas de textura	32
1.2.3.1. Importancia de las propiedades texturales de las cremas batidas en función de su aplicación	33
1.2.3.2. Pruebas de extrusión	33
1.2.3.3. Pruebas de adhesividad	34
1.2.4. Pruebas de estabilidad	35
1.2.4.1. Drenado de la espuma. Método volumétrico	35
1.2.4.2. Dispersión óptica de la luz	36
2. Metodología de investigación	40
2.1. Objetivos	40
2.2. Materiales	41
2.3. Métodos	42
2.3.1. Métodos utilizados en las cremas líquidas para batir	42
2.3.1.1. Obtención picnométrica de la densidad	42
2.3.1.2. Microscopia de la crema líquida	42
2.3.1.3. Caracterización reológica	43
2.3.1.4. Prueba de extrusión negativa	43
2.3.2. Métodos utilizados en las cremas batidas	45
2.3.2.1. Pruebas de textura	45

2.3.2.1.1.	Prueba de adhesividad por penetración	45
2.3.2.1.2.	Prueba de adhesividad por contacto	47
2.3.2.1.3.	Prueba de extrusión positiva	48
2.3.2.2.	Pruebas de estabilidad	48
2.3.2.2.1.	Drenado de líquido. Método volumétrico	48
2.3.2.2.2.	Microscopía de la crema batida	49
2.3.2.2.3.	Escaneo óptico	50
2.3.3	Tratamiento estadístico	51
3.	Resultados y Discusión	52
3.1.	Emulsión base	52
3.1.1.	Caracterización física de las cremas líquidas para batir	52
3.1.2.	Caracterización reológica	53
3.1.3.	Prueba de textura	59
3.2.	Crema batida	60
3.2.1.	Rendimiento	60
3.2.2.	Pruebas de textura	62
3.2.2.1.	Efecto del tiempo de batido y tipo de crema sobre los parámetros texturales	62
3.2.2.1.1.	Prueba de adhesividad por penetración	62
3.2.2.1.2.	Prueba de adhesividad por contacto	65
3.2.2.1.3.	Prueba de extrusión positiva	68
3.2.2.2.	Efecto del tiempo de batido sobre los parámetros texturales de cada tipo de crema batida	70
3.2.2.2.1.	Crema batida Dulcima® H3	70
3.2.2.2.2.	Crema batida Dulcima® Alto Rendimiento (AR)	75
3.2.2.2.3.	Crema batida Dulcima® Extra (Láctea, LC)	79
3.2.3.	Pruebas de estabilidad	83
3.2.3.1.	Copas de estabilidad	83
3.2.3.2.	Tamaño de burbuja durante el batido	87
3.2.3.3.	Tamaño de burbuja en función al tiempo de reposo	89
3.2.3.4.	Dispersión óptica de la luz	92
	Conclusiones y recomendaciones	99
	Referencias bibliográficas	101
	Apéndices	

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.1.</b> Fracción volumen y tamaño de los elementos estructurales de la crema batida.	2
<b>Cuadro 1.2.</b> Composición de las distintas presentaciones de crema líquida para batir Dulcima®.	12
<b>Cuadro 3.1.</b> Caracterización de los diferentes tipos de crema líquida para batir Dulcima® mediante las pruebas de densidad picnométrica y tamaño del glóbulo de grasa.	52
<b>Cuadro 3.2.</b> Parámetros reológicos de crema para batir marca Dulcima® H3, AR y LC, esta última bajo dos condiciones de prueba diferentes, con un precizamiento (cp) y sin precizamiento (sp).	57
<b>Cuadro 3.3.</b> Caracterización de los diferentes tipos de crema líquida para batir Dulcima® mediante las pruebas de extrusión negativa.	60
<b>Cuadro 3.4.</b> Parámetros texturales promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tipo de crema y el tiempo de batido	64
<b>Cuadro 3.5.</b> Parámetros texturales promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tipo de crema y el tiempo de batido	66
<b>Cuadro 3.6.</b> Parámetros texturales promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tipo de crema y el tiempo de batido	69
<b>Cuadro 3.7.</b> Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3	72
<b>Cuadro 3.8.</b> Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3	73
<b>Cuadro 3.9.</b> Parámetros texturales de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3	74
<b>Cuadro 3.10.</b> Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR)	76
<b>Cuadro 3.11.</b> Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR)	77
<b>Cuadro 3.12.</b> Parámetros texturales de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR)	78

<b>Cuadro 3.13.</b> Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC)	80
<b>Cuadro3.14.</b> Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC)	81
<b>Cuadro 3.15.</b> Parámetros texturales de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC)	82
<b>Cuadro 3.16.</b> Constantes de la ecuación sigmoideal de drenado para el tipo de crema batida y el tiempo de batido	85
<b>Cuadro 3.17.</b> Constantes de la ecuación sigmoideal de drenado de las cremas batidas H3, AR y LC. Efecto del tiempo de batido.	86
<b>Cuadro 3.18.</b> Velocidad de drenado promedio de las cremas batidas Dulcima® H3, AR y LC. Efecto del tiempo de batido.	97
<b>Cuadro 3.19.</b> Velocidad de drenado de la crema batida. Efecto del tipo de crema líquida y del tiempo de batido. Para H3se utilizó la velocidad inicial de drenado.	98



## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1.</i> Diagrama de proceso para la elaboración de crema batida.	5
<i>Figura 1.2.</i> Cambios en algunos componentes estructurales de la crema batida durante las etapas del batido (Noda y Shinoki, 1986).	6
<i>Figura 1.3.</i> Evolución de los parámetros texturales durante el batido de una crema láctea esterilizada.	7
<i>Figura 1.4.</i> Estructura interna de la crema batida, debida a la coalescencia parcial de los glóbulos grasos.	9
<i>Figura 1.5.</i> Importancia de a) el contenido de grasa cristalizada y b) la orientación de los cristales de grasa en el fenómeno de coalescencia parcial (Rosseau, 2000).	9
<i>Figura 1.6.</i> Microfotografía de una celda de aire en helado, rodeada de glóbulos de grasa en su superficie (Eisner <i>et al.</i> , 2005).	11
<i>Figura 1.7.</i> Perfil de sólidos grasos con respecto a la temperatura para diferentes fuentes de grasa comúnmente utilizadas en la manufactura de helados y cremas batidas.	13
<i>Figura 1.8.</i> Imagen confocal de una espuma que contiene caseinato y batida por 12 minutos (95% de rendimiento). Colores en la imagen. Verde = grasa, rojo = proteína.	15
<i>Figura 1.9.</i> Imágenes digitales de espumas después de 1 minuto (izquierda) y 20 minutos (derecha) de drenado de leche desnatada sin tratamiento térmico (a, e) y con tratamiento térmico de (b, f) HTST (73 °C, 20 s), (c, g) HT (90 °C 20 s) y (d, h) UHT (138 °C, 4.5 s) (Borcherding <i>et al.</i> , 2008).	20
<i>Figura 1.10.</i> Efecto de la temperatura en las emulsiones aireadas. (Arboleya <i>et al.</i> , 2009).	21
<i>Figura 1.11.</i> Relación cualitativa entre la estructura y reología de un sistema multifase.	30
<i>Figura 1.12.</i> Dispositivos de extrusión. a) Placa con orificio, b) Celda para la prueba de extrusión positiva y e) Celda para la prueba de extrusión negativa.	34
<i>Figura 1.13.</i> Desestabilización de una espuma. Aumento del tamaño de burbuja y colapso de la espuma.	37
<i>Figura 1.14.</i> Curva de transmisión y retrodispersión de una crema batida que presenta colapso del volumen de espuma y aumento del tamaño de burbuja.	38
<i>Figura 1.15.</i> Desestabilización de una espuma que presenta drenado de líquido.	38
<i>Figura 1.16.</i> Desestabilización de una espuma con drenado de líquido, colapso del volumen de espuma y disminución del tamaño de burbuja, con burbujas más o menos homogéneas.	39
<i>Figura 2.1.</i> Curva fuerza-tiempo característica de la prueba de extrusión negativa.	44
<i>Figura 2.2.</i> Curva fuerza-tiempo característica de la prueba de adhesividad por penetración.	45

<i>Figura 2.3.</i> Curva fuerza-tiempo característica de la prueba de adhesividad por contacto.	47
<i>Figura 2.4.</i> Curva fuerza-tiempo característica de la prueba de extrusión positiva.	48
<i>Figura 2.5.</i> Copas de estabilidad para determinar el líquido drenado por las espumas a través del tiempo.	49
<i>Figura 2.6.</i> Tubos utilizados en el equipo Turbiscan MA 2000 para el estudio de la dispersión de luz por una muestra de crema batida.	50
<i>Figura 3.1.</i> Curva de viscosidad en función al tiempo de los distintos tipos de cremas líquidas marca Dulcima®.	53
<i>Figura 3.2.</i> Curva de flujo de los distintos tipos de cremas líquidas marca Dulcima (Las abreviaturas sp = sin precizamiento, cp = con precizamiento).	54
<i>Figura 3.3.</i> Curva de flujo de la crema líquida para batir marca Dulcima® Éxtra (láctea). Las abreviaturas sp = sin precizamiento, cp = con precizamiento	55
<i>Figura 3.4.</i> Curva de viscosidad de los distintos tipos de cremas líquidas marca Dulcima®. Las abreviaturas sp = sin precizamiento, cp = con precizamiento.	56
<i>Figura 3.5.</i> Curvas promedio de la prueba de extrusión negativa. Efecto del tipo de crema líquida para batir.	59
<i>Figura 3.6.</i> Rendimiento de las cremas batidas Dulcima® H3, AR y LC. Efecto del tiempo de batido.	61
<i>Figura 3.7.</i> Curvas promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tipo de crema.	63
<i>Figura 3.8.</i> Curvas promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido.	63
<i>Figura 3.9.</i> Curvas promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tipo de crema.	65
<i>Figura 3.10.</i> Curvas promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido.	66
<i>Figura 3.11.</i> Curvas promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tipo de crema.	68
<i>Figura 3.12.</i> Curvas promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido.	69
<i>Figura 3.13.</i> Curvas promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3.	71
<i>Figura 3.14.</i> Curvas promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3.	72
<i>Figura 3.15.</i> Curvas promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3.	74
<i>Figura 3.16.</i> Curvas promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR)	75

<i>Figura 3.17.</i> Curvas promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR).	77
<i>Figura 3.18.</i> Curvas promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR).	78
<i>Figura 3.19.</i> Curvas promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC).	79
<i>Figura 3.20.</i> Curvas promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC).	80
<i>Figura 3.21.</i> Curvas promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC).	82
<i>Figura 3.22.</i> Curvas de drenado para la crema batida H3, a tres distintos tiempos de batido.	84
<i>Figura 3.23.</i> Curvas de drenado para las diferentes cremas batidas a un tiempo de batido de siete minutos.	84
<i>Figura 3.24.</i> Distribución del tamaño de burbuja durante el proceso de batido para la crema batida Dulcima® H3.	88
<i>Figura 3.25.</i> Distribución del tamaño de burbuja durante el proceso de batido para la crema batida Dulcima® AR.	88
<i>Figura 3.26.</i> Distribución del tamaño de burbuja durante el proceso de batido para la crema batida Dulcima® LC.	89
<i>Figura 3.27.</i> Cambio del tamaño de burbuja en función al tiempo para la crema batida Dulcima® H3 con distintos tiempos de batido.	90
<i>Figura 3.28.</i> Cambio del tamaño de burbuja en función al tiempo para la crema batida Dulcima® AR con distintos tiempos de batido.	91
<i>Figura 3.29.</i> Cambio del tamaño de burbuja en función al tiempo para la crema batida Dulcima® LC con distintos tiempos de batido.	91
<i>Figura 3.30.</i> Gráficas del porcentaje de transmisión y retrodispersión de luz de (a) Crema batida Dulcima® H3 con un tiempo de batido de 7 minutos, (b) Crema batida Dulcima® AR con un tiempo de batido de 7 minutos y (c) Crema batida Dulcima® LC con un tiempo de batido de 7 minutos. Las líneas punteadas delimitan a la muestra.	93
<i>Figura 3.31.</i> Gráficas del porcentaje de transmisión y retrodispersión de luz de (a) Crema batida Dulcima® LC con un tiempo de batido de 7 minutos, (b) Crema batida Dulcima® LC con un tiempo de batido de 8 minutos y (c) Crema batida Dulcima® LC con un tiempo de batido de 9 minutos.	95
<i>Figura 3.32.</i> Datos de drenado obtenidos por dispersión y transmisión óptica de la luz para una de las réplicas de las cremas Dulcima® H3, AR y LC.	97

## Resumen

En el presente trabajo se estudiaron las propiedades físicas de tres bases de crema para batir, de la marca Dulcima®: H3, Alto Rendimiento (AR) y Extra Láctea (LC). Estas bases tienen diferente tipo de grasa: H3 tiene grasa y aceite vegetal, AR aceite de semilla de palma, y LC contiene 18% de grasa de leche y aceite vegetal. A las cremas sin batir se les midió densidad y tamaño de glóbulo de grasa y se les aplicó una prueba de extrusión negativa y una caracterización reológica. Posteriormente se utilizaron tres tiempos de batido (siete, ocho y nueve minutos) para obtener las cremas batidas a las que se les realizaron tres pruebas de textura (adhesividad por penetración-retirada, adhesividad por contacto y extrusión positiva) y tres pruebas de estabilidad (volumetría en copas de estabilidad, escaneo óptico y tamaño del glóbulo de burbuja de aire por microscopía).

Las bases de crema tuvieron un proceso de homogenización similar ya que no hubo diferencia significativa en la densidad ni en el diámetro del glóbulo de grasa y las tres se ajustan al modelo reológico de la potencia. Se evaluó el efecto del tipo de crema líquida y el tiempo de batido sobre las propiedades texturales y de estabilidad de las cremas batidas mediante un análisis factorial y comparaciones tipo Tukey. LC presentó menor dureza y trabajo de extrusión y una buena estabilidad, mientras que H3 presentó la mayor dureza y propiedades adhesivas. Los tres métodos empleados para evaluar la estabilidad permiten diferenciar entre tipos de crema y mostraron que la crema más estable es la AR y la crema H3 es la menos estable.

Las pruebas de adhesividad por penetración y extrusión positiva permiten diferenciar entre los tipos de cremas analizadas. Las pruebas de adhesividad por penetración y por contacto permiten evaluar la manifestación de las propiedades adhesivas bajo distintas condiciones. Con base en los análisis realizados se recomienda la crema batida H3 para usarse como relleno de panadería y para formar figuras decorativas, la crema LC batida por nueve minutos es apta como cubierta de pasteles y otros productos de panificación y la crema batida AR es la más indicada para usarse como “topping”. Los resultados obtenidos son útiles para efectos de control de calidad y proceso.

## Introducción

En la industria de alimentos es cada vez más común encontrar productos con una estructura interna compleja como la crema batida, la cual debe ser, al igual que todos los productos alimentarios, aceptable desde el punto de vista microbiológico, físico y organoléptico (Jakubczyk y Niranjana, 2006); estos dos últimos aspectos se ven altamente influenciados por las propiedades texturales y de estabilidad, además, dependen de la composición de la crema y el tiempo de batido.

Asimismo, cuando se manejan emulsiones aireadas, como es el caso de las cremas batidas, sus propiedades texturales y de estabilidad son muy específicas dependiendo de la aplicación comercial a la que van dirigidas (relleno, decorado, 'topping'), que puede cambiar modificando el tiempo de batido, de ahí que, para definir y evaluar de manera más precisa su calidad es necesario aplicar las pruebas que mejor evalúen las características de cada clase de crema batida.

Para comprender las propiedades texturales y de estabilidad que puede presentar la crema batida, es necesario entender, que ésta es una dispersión de burbujas de gas en una fase líquida (Fennema, 1985) conformada por gotas de aceite dispersas en agua, en forma de emulsión. Una crema batida se obtiene mediante la inducción de la coalescencia de los glóbulos de grasa de una emulsión (con 35-40 % de grasa) por medio de un proceso controlado de cizallamiento de la misma, previamente enfriada. El enfriamiento permite que parte de la grasa se encuentre en estado cristalino. Con el cizallamiento (ocasionado por el batido), las membranas de los glóbulos de grasa se perturban y los cristales de grasa los perforan y al entrar en contacto con los cristales de otro glóbulo en las mismas circunstancias provocan la coalescencia; las burbujas de aire incorporadas con el batido son estabilizadas por una matriz de glóbulos de grasa parcialmente coalescidos y los glóbulos individuales retienen su identidad mientras la estructura cristalina se mantenga (Allen *et al.*, 2006). La creación de esta microestructura característica protege a las burbujas de los fenómenos de desestabilización, como son la maduración de Ostwald y la difusión de gas (Dutta *et al.*, 2004).

Generalmente en las emulsiones base para elaborar crema batida se utilizan proteínas lácteas y/o emulsificantes de bajo peso molecular. Estas emulsiones pueden ser de grasa láctea o de otro origen y es común también el empleo de polisacáridos como estabilizantes. Cualquier factor que influya en la cristalización de la grasa (origen de la misma, temperatura de batido, velocidad de batido, presencia de emulsificantes) tendrá efecto en las propiedades de una crema batida. Indistintamente de si los ingredientes de la emulsión base sean de naturaleza láctea o no, la elaboración de la crema batida es la misma y consiste en dos etapas; en la primera se prepara la emulsión mediante la homogenización de la fase lipídica y la segunda etapa es el batido, en donde el aire es incorporado en forma de burbujas a través de la acción mecánica.

Publicaciones previas sobre cremas batidas han descrito la utilidad de polisacáridos sobre su estabilidad y parámetros reológicos (Stanley *et al.*, 1996; Jakubczyk y Niranjana, 2006). Arboleya *et al.* (2009) han estudiado el efecto de la temperatura y el grado de cizallamiento durante su elaboración sobre el módulo elástico, módulo viscoso y el rendimiento de las cremas batidas. También se ha reportado la respuesta textural de este alimento ante pruebas de extrusión negativa (Piazza *et al.*, 2009) y se ha visto el efecto de los fenómenos de desestabilización sobre la distribución de las burbujas de aire y la fracción volumen en cremas batidas (Dutta *et al.*, 2004).

De estos estudios se ha podido comprobar que la estructura de la crema batida es muy diferente a la de la emulsión de la cual proviene, lo cual le da propiedades muy diferentes, entre las cuales una de las más importantes es la textura que determina la aptitud de cada crema batida para su empleo en distintas aplicaciones comerciales. Para determinar la textura de un material semisólido existen diversas pruebas, entre ellas se encuentran las de extrusión y adhesividad (Piazza *et al.*, 2009). Estas pruebas se pueden aplicar a la crema batida de acuerdo con la forma en cómo se utiliza comercialmente, por ejemplo, algunas cremas batidas son rellenos de panadería, otras como el chantilly son decorativas y también se agregan al café frío o caliente. Además los cambios o fallas en el proceso de elaboración de la crema batida influyen sobre sus propiedades texturales, por ello es necesario contar con pruebas de textura específicas para cada tipo de crema que sirvan como control de calidad.

Es por ello que el presente trabajo se enfoca en evaluar las propiedades físicas y texturales de tres diferentes bases comerciales de crema para batir, así como las propiedades texturales y estabilidad de las cremas batidas obtenidas a partir de éstas con tres diferentes tiempos de batido para poder determinar el tipo de pruebas texturales y de estabilidad que mejor describan las características que cada crema batida debe de tener para que su uso sea adecuado en una aplicación específica de la industria alimentaria.

## Capítulo 1. Antecedentes

### 1.1 Crema batida

#### 1.1.1 Definición y tipos de crema batida

La crema batida es un alimento que proviene de una emulsión, por ello es importante entender qué son las emulsiones para comprender de mejor manera lo que es la crema batida. Las emulsiones son sistemas metaestables ya que su estructura inicial evoluciona con el tiempo y por efecto de tratamientos térmicos, interacciones de sus componentes, esfuerzos mecánicos, entre muchos otros factores. Por ello es de primordial importancia fabricar estructuras que no solamente sean aceptables desde el punto de vista sensorial sino también suficientemente estables para ser viables comercialmente.

Un importante reto en la ciencia de las emulsiones es entender y controlar la evolución de las interacciones coloidales, la microestructura y propiedades reológicas durante el procesamiento, almacenamiento y transporte, así como la fabricación de nuevas estructuras a partir de emulsiones.

Las emulsiones pueden ser clasificadas en dos diferentes tipos según su uso:

- ☞ Aquellas que son en sí el producto final y deben permanecer estables hacia los procesos de floculación y coalescencia durante su producción y vida útil. Ejemplos de estos son las mayonesas, los aderezos y las cremas para el consumo directo.
- ☞ Aquellas que son usadas como ingredientes para la elaboración de productos más complejos como yogurts, sistemas gelificados, helados y cremas batidas.

Es evidente, entonces, que los requerimientos de composición y propiedades de la emulsión son diferentes dependiendo del uso final de la misma (Leal-Calderón *et al.*, 2007).

De lo anterior se comprende que la crema batida es una espuma formada a partir de una emulsión base con un contenido de grasa del 35-40%. De acuerdo con Graff y Muller (1965) una buena crema batida debe ser de espuma rígida y tener un rendimiento entre 100 y 120%. Debe tener un comportamiento plástico (no fluir bajo la fuerza de gravedad) y durante su almacenamiento retener el volumen, el comportamiento plástico y no presentar drenado de suero.



Las espumas a su vez, pueden ser definidas como aglomerados de burbujas, las cuales pueden estar más o menos empacadas o cubiertas por un líquido, su pared puede ser delgada o gruesa, flexible o rígida. Las espumas siempre van a estar constituidas por burbujas, independientemente de que su forma sea la de glóbulos o sacos, o del tipo de fuerza que se le haya aplicado para crearla (Dickinson, 1992).

En las espumas que son elaboradas a partir de una emulsión ya existente, el líquido es convertido en una fase semisólida como resultado de las operaciones del proceso (Walstra, 1989). Las “espumas sólidas”, llamadas así por su comportamiento plástico, que son elaboradas con productos lácteos pueden ser consumidas en estado congelado (como el caso de los helados) o solamente frías (como la crema batida), pero en ambos casos el fin principal al procesarlas es que la emulsión y la espuma formada puedan coexistir y ser estables.

Uno de los factores que determinan la estabilidad de la crema batida es el tamaño de sus elementos estructurales, que en este caso son las burbujas pero también los glóbulos de grasa. El tamaño característico de las burbujas y glóbulos de grasa de una crema batida se muestra en el Cuadro 1.1.

Cuadro 1.1. *Fracción volumen y tamaño de los elementos estructurales de la crema batida (Van Aken, 2001).*

Fracción volumen (35% de grasa)			Diámetro del glóbulo en la emulsión base ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro de burbuja ( $\mu\text{m}$ )
Burbujas de aire	Grasa dispersa	Suma		
0.55	0.17	0.72	0.5-3	9-30

De acuerdo al origen de la grasa con la que son elaboradas, se puede encontrar cuatro tipos de crema batida:

1. *Elaborada exclusivamente a partir de crema láctea natural (homogeneizada o no).*  
En estas cremas, los glóbulos de grasa están naturalmente recubiertos por la membrana natural de glóbulos de grasa.

2. *Elaborada a base de crema láctea recombinada.* Las cremas lácteas recombinadas se elaboran a partir de grasa butírica anhidra que se emulsifica con proteínas lácteas y/o emulsificantes de bajo peso molecular (EBPM). La estabilidad a la coalescencia de estos productos depende del tipo de proteínas lácteas empleadas y de las condiciones de proceso (presión de homogeneización, temperatura), así como del empleo de los EBPM.
3. *Cremas batidas mixtas.* Contienen tanto crema láctea como grasas vegetales de diferente origen (aceites de coco, palma, aceites parcialmente hidrogenados y sus mezclas). El tipo de grasa es fundamental porque determina el porcentaje de grasa sólida con que se cuenta a diferentes temperaturas.
4. *Elaboradas solamente con grasas vegetales* como las arriba mencionadas, ya sea solas o en mezcla (Vega, 2006; Van Lent *et al.*, 2008).

### **1.1.2 Formación o proceso de elaboración de una crema batida**

#### **1.1.2.1 Descripción general del proceso de elaboración**

La estabilidad física de la emulsión primaria juega un papel determinante en la producción de una crema batida de buena calidad. La emulsión tiene que ser desestabilizada en forma controlada después de la homogeneización y pasteurización. Entre más estable sea la emulsión primaria, más difícil será desestabilizarla para crear una crema batida estable (Leser y Michel, 1999).

La forma más popular de desestabilizar la emulsión es por medio de la adición de EBPM. Por separado, proteínas y EBPM pueden formar emulsiones estables, pero pequeñas cantidades de EBPM adicionados a una interfase estabilizada por proteínas, reduce la estabilidad en lugar de incrementarla. Esto se debe a que ambos ingredientes estabilizan de diferente manera.

Los EBPM generalmente estabilizan por el efecto Gibbs-Marangoni que se basa en que el surfactante tiene un alto grado de movilidad lateral, lo que implica mínimas interacciones de las moléculas adsorbidas en la superficie. Las proteínas estabilizan la interfase formando

redes viscoelásticas fuertes en las que las proteínas son esencialmente inmóviles e interactúan unas con otras.

Los dos mecanismos son incompatibles y la presencia de EBPM provoca competencia de las dos especies por la interfase, dando lugar a la inestabilidad. De manera que el proceso de elaboración de crema batida debe estar diseñado para provocar la desestabilización.

Por lo tanto, se puede dividir el proceso de elaboración de la crema batida en dos etapas principales: en la primera se prepara la emulsión, mediante la homogenización de la fase grasa en una solución que contenga suficiente emulsificante para crear una emulsión con la estabilidad deseada y a una temperatura tal que asegure el estado líquido de la grasa. La segunda es el batido, en donde la fase gaseosa, típicamente aire, es incorporada a través de acción mecánica en forma de burbujas. Una vez que el aire se incorpora, la constante agitación rompe las burbujas presentes en burbujas de tamaño menor, lo que genera un área superficial muy amplia con una fracción volumen de gas que incrementa a medida que la agitación continúa. La Figura 1.1 muestra el proceso completo de la elaboración de crema batida (las condiciones pueden variar dependiendo de la formulación).

Si la crema batida es a base de crema láctea natural, a ésta, previamente enfriada, se le adicionan los emulsificantes y estabilizantes, se somete al tratamiento térmico (HTST o UHT), se enfría y se bate (Vega, 2006).

Un mal control del tiempo de batido resulta en la pérdida de las burbujas y la inversión de fases de la emulsión. Cuando se bate por más tiempo del necesario los agregados de glóbulos de grasa llegan a ser tan grandes que la pared de la burbuja se rompe, comienza la coalescencia de las burbujas, el rendimiento decae y por último la crema batida empieza a parecerse a la nata. Esta inversión de fases es irreversible y la cremosa emulsión aceite en agua se convierte en una grasosa emulsión agua en aceite, manifestándose mediante la aparición de gránulos de grasa semejantes a los de la mantequilla (Schmidt y van Hooydonk, 1980).

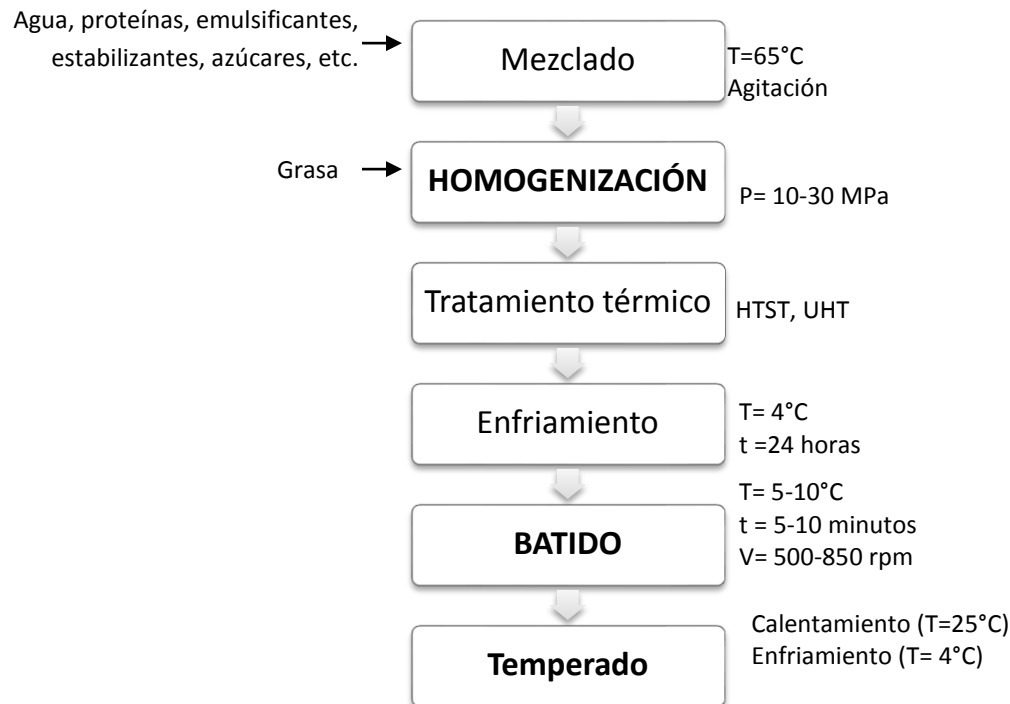


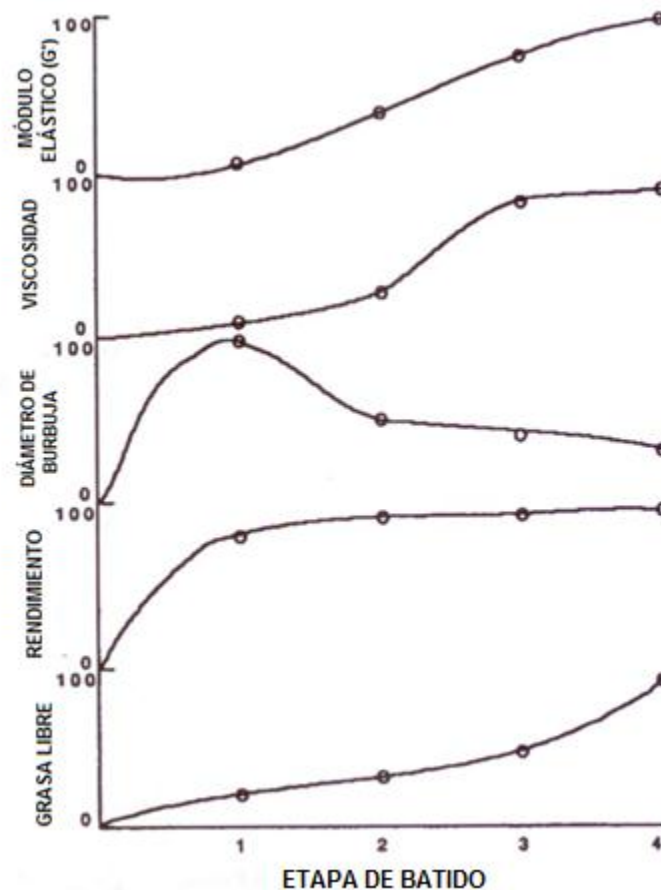
Figura 1.1. Diagrama de proceso para la elaboración de crema batida.

### 1.1.2.2 Evolución estructural y cambios durante el batido

El batido de crema involucra la transformación de un líquido viscoso en un sólido viscoelástico aireado: en la etapa inicial gran cantidad de aire es introducido y, conforme el batido continúa, el tamaño de las burbujas se vuelve más uniforme, teniendo un diámetro promedio menor (Allen *et al.*, 2006). La estructura desarrollada durante este proceso involucra la acumulación de glóbulos de grasa en la interfase de las burbujas (Mulder y Walstra, 1974). En la etapa final del batido, se forma una red de glóbulos de grasa parcialmente coalescidos y es precisamente ésta la que estabiliza las burbujas de aire, atrapando la fase continua en paquetes, lo cual ocasiona una característica textural de la crema batida: la rigidez (Needs y Huitson, 1991).

Noda y Shiinoki (1986) estudiaron la relación entre las propiedades reológicas y la microestructura de la crema batida durante el batido. Estos autores concluyeron que la mayoría de las burbujas de aire son introducidas en el sistema en la primera etapa del batido, aumentando de manera considerable el rendimiento de la espuma (Figura 1.2), pero

ellas no contribuyen a la formación de una estructura estable hasta que su diámetro sea reducido. En las siguientes etapas el tamaño promedio de las burbujas disminuye hasta formar una estructura resistente, también se observó que la viscosidad y rigidez de la espuma aumentan porque las proteínas y emulsificantes reducen la tensión superficial y promueven las interacciones entre glóbulos de grasa para formar la red parcialmente coalescida cuyos agregados no son completamente esféricos, asegurando la formación de una red continua (Walstra, 1989), que sólo admite a burbujas pequeñas y uniformes en sus dimensiones.



*Figura 1.2.* Cambios en algunos componentes estructurales de la crema batida durante las etapas del batido (Noda y Shinoki, 1986).

Van Aken (2001), caracterizó crema láctea esterilizada con 30.7% de grasa, batida a 540 rpm en un dispositivo diseñado especialmente, con dos batidores planetarios de alambre. Durante el proceso de batido analizó la crema en tres etapas diferentes. La primera etapa

(los primeros 40 segundos) el rendimiento rápidamente aumenta debido a la gran cantidad de aire incorporado en forma de grandes burbujas que se rompen en otras más pequeñas (Figura 1.3). Si el batido se detiene en este momento, las burbujas grandes rápidamente suben a la superficie y desaparecen, mientras las pequeñas permanecen en la espuma. La firmeza permanece baja y prácticamente constante y el índice de aglomeramiento de los glóbulos de grasa se incrementa ligeramente. Después de los primeros 40 segundos (la segunda etapa de batido), el rendimiento aumenta muy poco, lo que indica que la mayor parte del aire se incorporó en la primera etapa. La pérdida de suero disminuye considerablemente, la firmeza y el índice de aglomeramiento aumentan. Las burbujas son más pequeñas. En la tercera etapa, después de 80 segundos, el índice de aglomeración y la firmeza se incrementan en forma más intensa, mientras que la pérdida de suero disminuye muy poco. El punto final se alcanza con un índice de aglomeramiento de 0.75, lo cual corresponde a una concentración de glóbulos libres en la fase continua de 8.75% p/p. Si en este punto se continúa el batido, se produce una rápida pérdida del rendimiento y se forman grandes gránulos de mantequilla

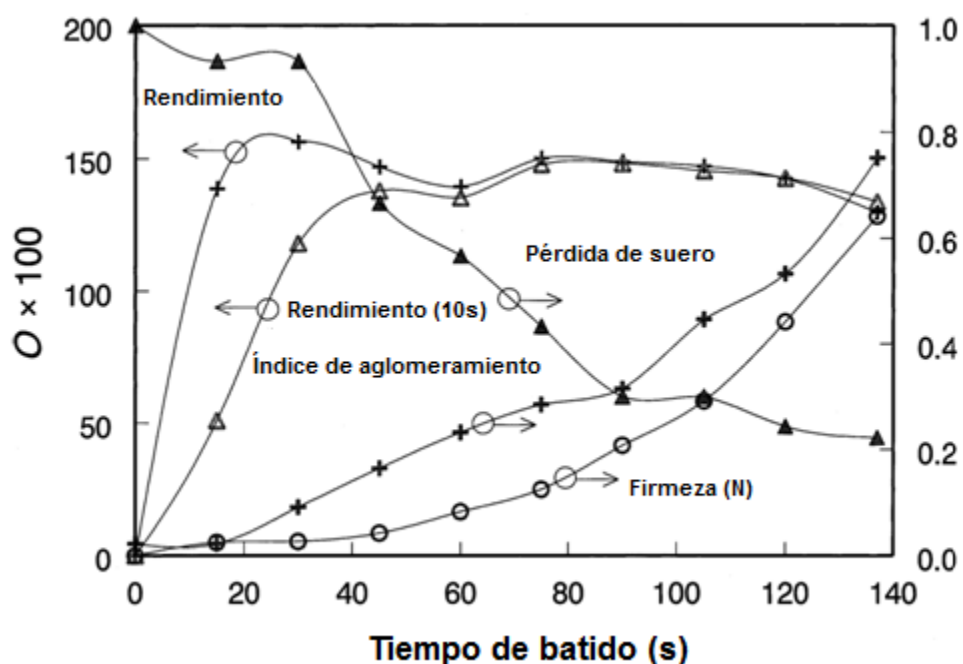


Figura 1.3. Evolución de los parámetros texturales durante el batido de una crema láctea esterilizada (Van Aken, 2001).

### 1.1.3 Microestructura de las cremas batidas

La crema batida proviene de la formación de una red que puede ser duradera y rígida. Estas características son resultado de partículas semisólidas de grasa en la crema que ejercen una influencia estabilizadora en la espuma a través de un mecanismo conocido como coalescencia parcial.

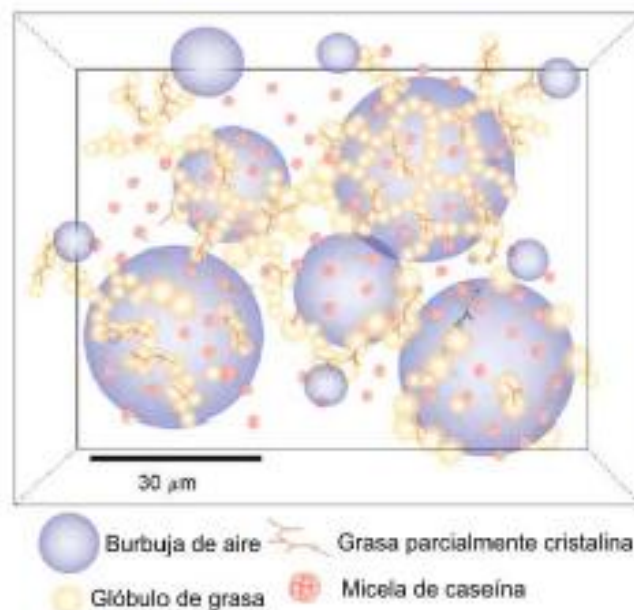
Cuando una emulsión aceite-agua, con aceite totalmente líquido, es sometida a agitación, la membrana de dos glóbulos que colisionan se rompe, la grasa líquida fluye y se funde para crear un glóbulo de grasa de mayores dimensiones, este fenómeno es conocido como coalescencia.

La coalescencia parcial es una consecuencia de la inestabilidad de la emulsión base, la cual contiene partículas de grasa semisólidas. Este fenómeno comienza cuando la membrana que rodea a cada glóbulo de grasa se rompe por la fuerza aplicada al batir, esta fuerza también aumenta el número de colisiones entre glóbulos grasos, algunos de los cuales se encuentran en estado cristalino (Stanley *et al.*, 1996). La coalescencia parcial es inducida cuando los cristales sólidos de grasa que se encuentran dentro de los glóbulos penetran en la parte líquida de otro glóbulo (Boode, 1992). Como los cristales de grasa no pueden fluir, el proceso de coalescencia es incompleto y da como resultado una red tridimensional e irregular de agregados de grasa (Lesser y Michel, 1999). Debido a que los glóbulos de grasa y las burbujas de aire son de naturaleza hidrofóbica la grasa es adsorbida parcialmente por las burbujas, quedando éstas atrapadas y estabilizadas en la red de glóbulos grasos parcialmente coalescidos (Figura 1.4).

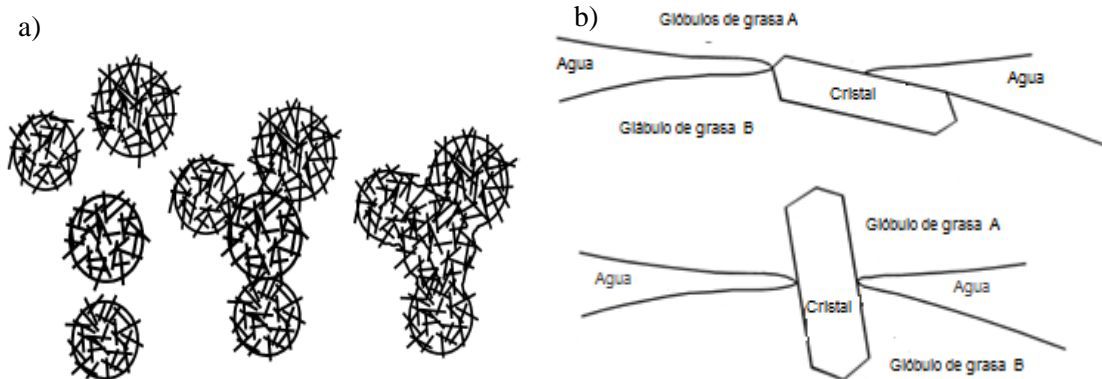
La sensibilidad de la grasa a la coalescencia parcial depende del contenido de grasa sólida y de la orientación de los cristales respecto a la de las gotas de grasa (Figura 1.5). Esta sensibilidad puede ser alterada por los EBPM, por el proceso de temperado y por el tipo y estado de las proteínas (Rosseau, 2000).

La localización de los cristales de grasa dentro de la emulsión es muy importante, éstos pueden encontrarse en la fase dispersa, fase continua o en la interfase, pero para que se pueda llevar a cabo la coalescencia parcial es esencial que la grasa cristalizada se encuentre en la interfase (Figura 1.5a) ya que así se induce la cristalización de los glóbulos de grasa

adyacentes. Sin embargo, la forma en cómo se orientan los cristales al penetrar la interfase tiene un gran efecto sobre la estabilidad del sistema; si el cristal penetra entre dos glóbulos de grasa adyacentes de manera perpendicular a su interfase (Figura 1.5b, parte inferior) ésta se puede llegar a romper, pero si el cristal penetra con una orientación paralela a la interfase del glóbulo, la desestabilización será menor (Figura 1.5b, parte superior).



*Figura 1.4.* Estructura interna de la crema batida, debida a la coalescencia parcial de los glóbulos grasos (Vega, 2006).



*Figura 1.5.* Importancia de a) el contenido de grasa cristalizada y b) la orientación de los cristales de grasa, en el fenómeno de coalescencia parcial (Rosseau, 2000).



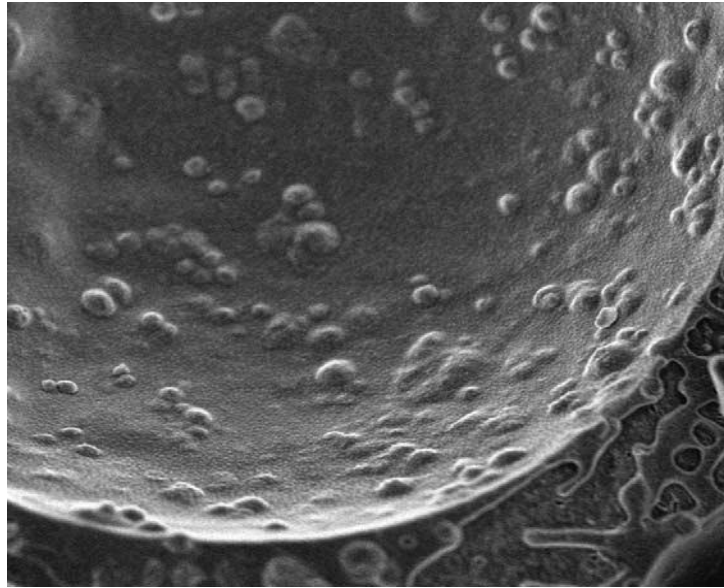
La cantidad de grasa sólida es vital, si la mayoría de la grasa es sólida, las gotas pueden no ser perturbadas por el trabajo mecánico. Si las gotas contienen muy poca grasa sólida, el sistema puede mantener su estabilidad o coalescer en forma completa. Por ello, entre el 10 y el 50% de la grasa debe estar cristalizada para promover la coalescencia parcial y obtener la estructura, propiedades (reológicas y texturales) y apariencia característica de una crema batida (Smith *et al.*, 2000; Eisner *et al.*, 2005).

La velocidad de cizalla también tiene gran influencia sobre el fenómeno de coalescencia parcial de la grasa y por ende, sobre las propiedades de las estructuras que se forman durante el proceso de batido (Arboleya *et al.*, 2009). Altas velocidades de cizalla promueven la formación de una red cohesiva y parcialmente coalescida debido a que se incrementa la probabilidad de colisión, lo que a su vez fomenta la desestabilización de los glóbulos de grasa en la emulsión con mayor rapidez.

Se puede concluir entonces que tres requisitos son necesarios para la desestabilización de la emulsión y la formación de microestructura de la crema batida:

- a. Cierta cantidad de grasa sólida en los glóbulos de grasa, lo cual se consigue con el enfriamiento de la emulsión primaria antes del batido.
- b. Desestabilización de los glóbulos de grasa. Esto ocurre cuando la membrana de los glóbulos de grasa en la crema láctea es rota por la cizalla durante el batido. En el caso de cremas vegetales, cuando los glóbulos son desestabilizados por efecto de la cizalla y/o por el desplazamiento de las proteínas de la interfase aceite-agua por parte de emulsificantes de bajo peso molecular.
- c. Coalescencia parcial de los glóbulos de grasa, que ocurre al mismo tiempo que el aire es incorporado (Figura 1.6).

La Figura 1.6 muestra la microestructura de una celda de aire en un helado rodeada de glóbulos de grasa parcialmente coalescidos. En la crema batida que contiene mucha mayor cantidad de grasa, la cobertura de la celda de aire es mayor.



*Figura 1.6.* Microfotografía de una celda de aire en helado, rodeada de glóbulos de grasa en su superficie (Eisner *et al.*, 2005).

#### **1.1.4 Ingredientes en una crema batida**

Los ingredientes básicos en una crema batida comercial, que además puede estar saborizada y/o endulzada son los siguientes:

- ∞ Agua (en cremas mixtas o vegetales)
- ∞ Grasa: láctea (crema láctea, grasa butírica anhidra, cremas recombinadas), grasas vegetales (aceites de coco, palma, soya, entre otros)
- ∞ Sólidos lácteos no grasos: leche descremada, caseinatos, sueros de leche, residuo de crema en polvo (residuo de la elaboración de grasa butírica anhidra; contiene 45% de lactosa, 30% de proteína, 5 % de fosfolípidos)
- ∞ Proteínas no lácteas (soya)
- ∞ Edulcorantes (azúcar, jarabe de maíz)
- ∞ Emulsificantes de bajo peso molecular (monoestearato de glicerol, monopalmitato de glicerol, monooleato de glicerol, lecitina de soya, polisorbato 60). El HLB (Balance Hidrofóbico/ Lipofóbico, por sus siglas en inglés) y el grado de insaturación determinan su capacidad desestabilizante de la emulsión durante el batido
- ∞ Hidrocoloides: carrageninas, xantana, guar, derivados de celulosa, goma de algarrobo, alginatos

- ∞ Conservadores: sorbato de potasio, benzoato de sodio
- ∞ Colorantes
- ∞ Saborizantes
- ∞ Sales (cloruro de sodio, citratos, fosfatos)

Como ejemplo, se muestran los ingredientes que contiene tres clases diferentes de crema para batir comercial de la marca Dulcima® (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.2. *Composición de las distintas presentaciones de crema líquida para batir Dulcima®.*

<b>Dulcima® H3</b>	<b>Dulcima® Alto rendimiento (AR)</b>	<b>Dulcima® Extra (LC)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Grasa 26% (Aceite vegetal y Grasa vegetal)</li> <li>• Leche descremada en polvo</li> <li>• Gel de celulosa (estabilizante)</li> <li>• Mono y diglicéridos de ácidos grasos y polisorbato-60 (emulsivos)</li> <li>• Saborizante artificial</li> <li>• Sal</li> <li>• 0.8% de benzoato de sodio</li> <li>• 0.02% de sorbato de potasio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jarabe de maíz</li> <li>• Agua</li> <li>• Grasa 24% ( Aceite de semilla de palma parcialmente hidrogenado)</li> <li>• Caseinato de sodio</li> <li>• Goma celulosa y xantana (estabilizante)</li> <li>• Monoglicéridos de ácidos grasos, polisorbato-60 y lecitina de soya (emulsivos)</li> <li>• Saborizante artificial</li> <li>• Sal</li> <li>• 0.8% de benzoato de sodio</li> <li>• 0.02% de sorbato de potasio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Grasa de leche de vaca (18% min.)</li> <li>• Aceite de soya y/o palma y/o coco (13% máx.)</li> <li>• Leche descremada en polvo</li> <li>• Mono y diglicéridos de ácidos grasos (emulsivos)</li> <li>• Goma celulosa y carragenina (estabilizantes)</li> <li>• Colorante natural (betacaroteno) y artificial (tartrazina)</li> <li>• Saborizante natural y artificial</li> <li>• 0.05% de sorbato de potasio</li> </ul>

A continuación se analizará con más detalle la funcionalidad de los elementos básicos en la formación de una crema batida.

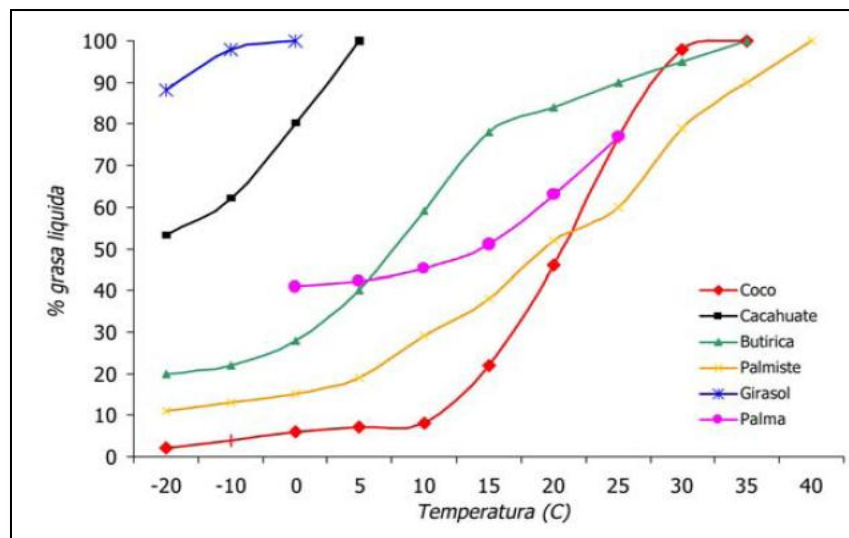
#### **1.1.4.1 Lípidos**

Una crema líquida puede contener distintos tipos de aceite, pero es importante que la fuente de grasa con la que se elabore provea de suficiente material cristalino a la temperatura de batido, lo cual implica un alto contenido de triglicéridos saturados, ya que dichos cristales son esenciales para crear la estructura durante el batido (Vega, 2006). Por ello las grasas

típicamente utilizadas para la elaboración de cremas batidas incluyen: grasa butírica, aceites de coco o palma, aceites vegetales parcial o totalmente hidrogenados y sus mezclas.

Sin importar cuál sea la grasa utilizada, se debe tener en cuenta el perfil de sólidos grasos con respecto a la temperatura (Figura 1.7), ya que si la grasa tiene alto punto de fusión, la crema batida puede resultar demasiado dura a la temperatura de batido, lo cual afecta negativamente la incorporación de aire, y al ser consumida, dejar residuos de grasa sólida en el paladar, lo cual para el consumidor es muy desagradable.

La crema líquida normalmente se bate a una temperatura entre 4 y 10°C; como se puede observar en la Figura 1.7, el aceite de girasol y de cacahuate son completamente líquidos a esa temperatura, por lo que no pueden ser usados en la elaboración de crema batida. Los lípidos de coco tienen un porcentaje de sólidos muy elevado a la temperatura de batido lo cual afectaría negativamente las propiedades de la crema batida, dejando una sensación grumosa en el paladar. Los aceites de palmiste, palma y la grasa butírica tienen entre un 30 y 75% de grasa sólida a la temperatura mencionada por lo que son los más usados, aunque también es común encontrar mezclas de lípidos para obtener una cantidad de sólidos específica a la temperatura de batido o recurrir a procesos de hidrogenación.



*Figura 1.7.* Perfil de sólidos grasos con respecto a la temperatura para diferentes fuentes de grasa comúnmente utilizadas en la manufactura de helados y cremas batidas (Vega, 2006).

#### 1.1.4.2 Proteínas

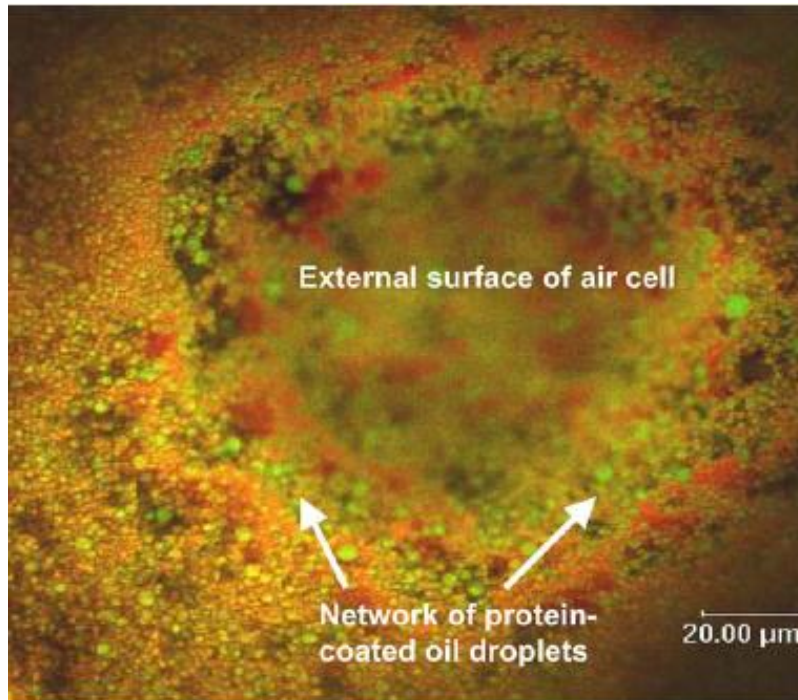
Las proteínas lácteas forman la membrana del glóbulo graso en las cremas lácteas; pueden adicionarse a la crema láctea, vegetal o mixta como leche descremada, caseinatos, suero de leche (normal, concentrado, aislado), residuo de crema en polvo (residuo de la elaboración de grasa butírica anhidra; contiene 45% de lactosa, 30% de proteína, 5 % de fosfolípidos). Se ha encontrado que las emulsiones estabilizadas con proteínas del suero requieren mayores tiempos de batido, que las estabilizadas con caseinatos.

Las proteínas emulsifican la grasa en la emulsión primaria, pero también cumplen un papel muy importante en la crema batida debido a sus propiedades espumantes, las cuales se deben a su habilidad para 1) adsorberse en la interfase aire/agua y así disminuir la tensión interfacial, 2) desdoblarse en la interfase orientando sus grupos hidrofílicos e hidrofóbicos hacia las fase acuosa y no acuosa, respectivamente y 3) formar una película usando las interacciones de una proteína parcialmente desnaturalizada (Borcherding *et al.*, 2008). Como otras propiedades funcionales de las proteínas, su propiedad espumante está determinada por sus características estructurales, físicas y de composición, como la masa molecular, la composición y secuencia de aminoácidos e hidrofobicidad, entre otras.

Los tratamientos térmicos a los que son sometidas las proteínas durante el procesamiento (HTST, UHT), modifican su estructura (principalmente en el caso de las proteínas del suero). La  $\beta$ -lacto globulina se desnaturaliza por arriba de 70°C, (presenta dos picos, uno a 70 y otro a 140 °C, lo que indica una mayor desnaturalización con UHT); una vez desnaturalizada, puede formar complejos con  $\kappa$ -caseína y  $\alpha$ -lactoalbúmina lo que incrementa la viscosidad del suero. Los cambios en la membrana del glóbulo graso y en la interfase aire/grasa, ayudan a explicar los cambios en las propiedades viscoelásticas de las cremas batidas asociados con la desestabilización (Smith *et al.*, 2000).

Las proteínas tienen una función importante durante el proceso de batido de la crema; cuando los glóbulos de grasa se juntan para crear una conexión entre burbujas adyacentes el líquido no ocupa todo el espacio comprendido entre los glóbulos y la superficie de las burbujas. Needs y Huitson (1991) han sugerido que la caseína y otras proteínas que inicialmente estabilizaban al glóbulo de grasa ocupan parte de ese espacio, pero ahora se encuentran desdobladas debido a la acción del batido, lo que les permite desarrollar sus

características espumantes, esta mezcla de proteínas y glóbulos de grasa en la estructura de la crema batida se puede ilustrar en la Figura 1.8.



*Figura 1.8.* Imagen confocal de una espuma que contiene caseinato y batida por 12 minutos (95% de rendimiento). Colores en la imagen: Verde = grasa, rojo = proteína (Allen, *et al.*, 2006).

#### 1.1.4.3 Emulsificantes de bajo peso molecular

Como se mencionó anteriormente, aunque es necesario que la emulsión base sea estable durante el almacenamiento, la interfase grasa debe ser suficientemente delgada y/o débil para permitir la coalescencia parcial durante el batido. Esta es la función principal de los emulsificantes añadidos a la crema para batir. Los mono y diglicéridos (mdg) insaturados son más efectivos en este aspecto que aquellos saturados, pero los mdg saturados promueven mejor la cristalización de la grasa lo que a su vez promueve la coalescencia parcial (Goff y Jordan, 1989).

Los EBPM se adsorben más rápido en la interfase en comparación con las proteínas, dando como resultado emulsiones con pequeñas partículas y muy estables. Las membranas de los glóbulos de grasa formadas por EBPM son más delgadas y más susceptibles al

cizallamiento que las membranas de proteína. Esto da lugar a una emulsión inestable y a la coalescencia parcial durante el batido.

A temperaturas por debajo de la cristalización de los EBPM, la actividad interfacial de los monoglicéridos se incrementa dramáticamente y les da la capacidad de reducir la tensión superficial en mayor grado que las proteínas.

Davies *et al.* (2001) encontraron que los monoglicéridos insaturados tienen mayor poder desestabilizante que los saturados; en sistemas reales (como helado) se ha encontrado que el monooleato (monoglicérido insaturado) produce una mayor desestabilización de la emulsión. En el aceite solo, los emulsificantes tienen un mínimo efecto en la temperatura de cristalización, pero en la emulsión, la necesidad de enfriamiento para inducir la cristalización es mucho menor para los monoglicéridos saturados, por lo tanto los monoglicéridos saturados son buenos inductores de la cristalización.

Mackie *et al.* (1998), estudiaron el desplazamiento de caseína y proteínas del suero por Tween 20 en sistemas modelo de monocapas adsorbidas y sugirieron que el proceso de desplazamiento tiene tres etapas por un mecanismo que denominan desplazamiento orogénico.

- a. El emulsificante se adsorbe en los defectos de la red de proteínas y estos sitios empiezan a crecer comprimiendo la red de proteínas sin desplazarlas.
- b. La segunda etapa involucra el torcido de la capa de proteínas y el reordenamiento de las moléculas, mientras la película se hace más gruesa como respuesta a la disminución de la cobertura de la superficie.
- c. A presiones superficiales suficientemente altas, la red falla, liberando a las proteínas que se de-sorben.

Cada proteína muestra diferentes mecanismos de falla en función de su estructura secundaria.

#### 1.1.4.4 Polisacáridos estabilizantes

Los polisacáridos se utilizan ampliamente en alimentos como espesantes, estabilizantes y gelificantes. En las emulsiones, tienen además otros efectos adicionales.

- ☞ Producen separación de fases por su incompatibilidad entre ellos y con las gotas de grasa de la emulsión. Esto produce floculación por aglomamiento y coalescencia y las gotas de aceite son expulsadas en una fase de emulsión concentrada, distinta de la fase acuosa la cual está ligeramente enriquecida con el polisacárido. Un efecto similar se puede producir con un exceso de proteína. La separación se hace más pronunciada al incrementarse la concentración del polisacárido.
- ☞ Aumentan la viscosidad de la fase continua reduciendo con esto la velocidad de drenado de líquido. Además, el polisacárido puede gelificar atrapando las gotas de la emulsión y estabilizándolas contra la floculación y coalescencia. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el empleo de polisacáridos tiene impacto no solamente en la estabilidad de las emulsiones sino también sobre su comportamiento reológico.
- ☞ Los polisacáridos pueden interactuar directamente con el material adsorbido en la interfase de las gotas de la emulsión. Aunque los polisacáridos son esencialmente hidrofóbicos (con excepciones como algunas galactomananas, almidones modificados, goma arábica y algunos derivados de celulosa), los polisacáridos aniónicos pueden interactuar con las proteínas adsorbidas de carga opuesta ya sea en la interfase o en la fase continua, y de esta forma facilitar la desestabilización al competir con las proteínas por la interfase.
- ☞ En la crema batida, el efecto de los polisacáridos se ha reportado en las propiedades espumantes (overrun y tiempo de batido), en la estabilidad y en las propiedades reológicas y texturales (Dalglish, 2006).

#### 1.1.5 Estabilidad de una crema batida

El aire es incorporado en la crema batida en forma de burbujas para proveerla de una textura específica. La cantidad de aire incorporado y por ende la textura determinan la apariencia y la vida de anaquel de este alimento (Kokelaar *et al.*, 1995). Sin embargo, la



crema batida está expuesta a perder la estabilidad inicial de su estructura, ya que es un sistema termodinámicamente inestable.

El proceso de inestabilidad de las espumas comienza con el drenado de la fase continua a través de la delgada capa entre las burbujas. Como resultado la lamela de la burbuja se adelgaza favoreciendo la transferencia de masa, en forma de gas, a través de ésta, lo cual permite el crecimiento de grandes burbujas a expensas de las pequeñas. Este proceso continua con la coalescencia de las burbujas (la delgada capa entre dos burbujas colapsa y las dos burbujas se fusionan en una sola) y termina con la separación de fases (Raharitsifa *et al.*, 2006).

La inestabilidad en las espumas es mayor que en las emulsiones y es más difícil mantener las primeras en un estado definido. Esta inestabilidad se debe a varias causas que no existen en las emulsiones. Para que una espuma se desestabilice actúan dos mecanismos principales: la desproporción de las burbujas o maduración de Ostwald y la difusión de gas.

La maduración de Ostwald es el proceso mediante el cual grandes burbujas crecen a expensas de las pequeñas debido a las diferencias de presión entre las burbujas grandes y las de menor tamaño. El crecimiento se da por la difusión del aire a través de la fase continua. Debido al gran tamaño de algunas burbujas y su considerable diferencia de densidad con la fase continua que las rodea, éstas rápidamente pueden perder su integridad provocando el drenado del líquido (Dutta *et al.*, 2004).

El proceso de difusión de gas se origina por el hecho de que la presión dentro de la burbuja es mayor que la presión atmosférica debido a la tensión interfacial y la curvatura de la burbuja. Por esta diferencia de presión el gas se difunde fuera de la burbuja cuando la espuma está en contacto con la presión atmosférica y como resultado el tamaño de las burbujas y el rendimiento total de la espuma disminuye con el tiempo. Conforme el tamaño de la burbuja es menor la presión interna aumenta y el proceso de difusión se vuelve más rápido.

Se han propuesto varias estrategias para prevenir estos fenómenos de inestabilidad, una de ellas propone que si todas las burbujas son lo más similares en cuanto a tamaño, el proceso de maduración de Ostwald se verá frenado. Una segunda estrategia es incrementar la

viscosidad de la fase continua mediante la adición de un hidrocoloide lo cual limitará el movimiento de las burbujas; cuanto mayor es la viscoelasticidad de la superficie de la burbuja la difusión del gas es menor, además cuánto más elástica sea esta interfase, se presentará en menor grado la maduración de Ostwald. Una última estrategia es la estabilización de la parte líquida de la espuma al intensificar la fuerza de la capa interfacial que rodea las burbujas. Esto se puede hacer al adicionar proteínas o moléculas emulsificantes, sin embargo, la manera más efectiva de estabilizar a la espuma es rodeando las burbujas con una red de glóbulos de grasa semicristalinos. La crema batida, al ser una emulsión aireada, en la que las burbujas son estabilizadas por glóbulos de grasa parcialmente coalescidos, son mucho más estables que las espumas tradicionales.

#### **1.1.6 Bases de crema para batir**

Dentro de las emulsiones utilizadas como ingredientes para formar productos más complejos están los que se elaboran mediante el batido, en dónde, como ya se ha explicado anteriormente, la estructura final del producto requiere la desestabilización de la emulsión primaria. Es por ello que los requerimientos de composición y propiedades de la emulsión son diferentes dependiendo del uso final de la misma. Las bases de crema para batir requieren, por lo tanto, de proteínas, EBPM, polisacáridos y grasa con un perfil de sólidos grasos adecuado.

Es importante señalar que las propiedades de los glóbulos de la emulsión por si mismos pueden influenciar las propiedades reológicas de la emulsión entera (Bode y Walstra, 1993). La presencia de grasa sólida dentro de los glóbulos es esencial para la aireación de la emulsión, pero si la mayoría de la grasa es sólida, no se podrá formar una la red de glóbulos parcialmente coalescidos para crear una estructura semisólida que estabilice y fije las burbujas (Rousseau, 2000).

Leal-Calderón *et al.*, (2007) describieron las propiedades de emulsiones concentradas (con más de 30% de aceite), como de la crema batida, y pudieron observar que debido a la deformabilidad de las gotas de aceite, estas gotas se encuentran tan densamente empacadas que equivalen a una suspensión de esferas rígidas. Las emulsiones son sistemas

comprendidos por fluidos, pero a altas fracciones volumen de la fase dispersa se vuelven notoriamente rígidos y llegan a parecerse a un sólido elástico.

### 1.1.7 Influencia del tratamiento térmico de la emulsión base

Las condiciones de proceso antes del batido también afectan las propiedades estructurales de la crema batida. Por ejemplo, las cremas líquidas que son tratadas térmicamente a altas temperaturas por corto tiempo (HTST), en presencia de estabilizantes (emulsificantes y polisacáridos) muestran una microestructura más estable durante el almacenamiento (las siguientes 24h a su elaboración) comparadas con aquellas tratadas por UHT (Ultra alta temperatura). Las diferencias han sido atribuidas a que las cremas HTST formaron espumas más elásticas y menos frágiles, lo cual fue ratificado por la presencia de burbujas redondas e intactas en comparación con burbujas distorsionadas en las cremas UHT. Además, las cremas tratadas con UHT resultaron con un rendimiento menor y tiempos de batido más largos que las tratadas con HTST (Smith *et al.*, 2000).

Borcherding *et al.*, (2008) además encontraron que la densidad de una crema batida tratada con UHT disminuye con respecto a aquella no tratada, por lo que drenó completamente antes de 20 minutos, además mostraron que el tamaño promedio de las burbujas era diferente de acuerdo con el tratamiento térmico aplicado (Figura 1.9).

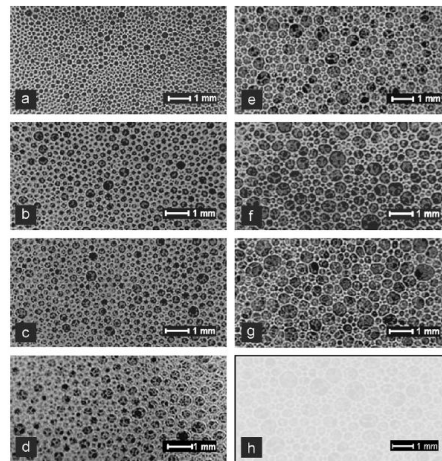


Figura 1.9. Imágenes digitales de espumas después de 1 minuto (izquierda) y 20 minutos (derecha) de drenado de leche desnatada sin tratamiento térmico(a, e) y con tratamiento térmico de (b, f) HTST (73 °C, 20 s), (c, g) HT (90 °C, 20 s) y (d, h) UHT (138 °C, 4.5 s) (Borcherding *et al.*, 2008).

### 1.1.8 Temperado de la crema batida

Como se ha mencionado anteriormente, al batir la emulsión, los cristales de grasa sobresalen del glóbulo y penetran en otro, promoviendo su coalescencia parcial. Sin embargo, algunos autores sugieren que los cristales de grasa no aportan estabilidad a la estructura resultante sólo al entrecruzarse (Smith *et al.*, 2000; Gravier *et al.*, 2006), más bien sugieren que el proceso de fusión de la grasa aporta integridad a la red (Figura 1.10). A baja temperatura los glóbulos de grasa se mantienen separados, a mayor temperatura, la fusión parcial de los glóbulos permite que la grasa líquida fluya entre éstos, incrementando su fuerza de capilaridad y permitiendo que la grasa sólida penetre dentro del glóbulo adyacente, incrementando la fuerza de la red. Al aumentar la temperatura de batido hasta el punto en que la grasa comienza a fundirse, la viscosidad de la emulsión aireada aumenta notoriamente debido a que la grasa líquida que se encuentra en el perímetro del glóbulo aumenta la fuerza de las interacciones entre los cristales de grasa que se encuentran dentro de los glóbulos, cambiando las propiedades reológicas de la crema batida porque la grasa líquida funciona como un intermediario en las interacciones glóbulo-glóbulo y glóbulo-burbuja, realzando su fuerza, intensidad y cantidad. Sin embargo, el que todos los glóbulos sean líquidos hace que la red pierda rigidez y fuerza (Arboleya *et al.*, 2009).

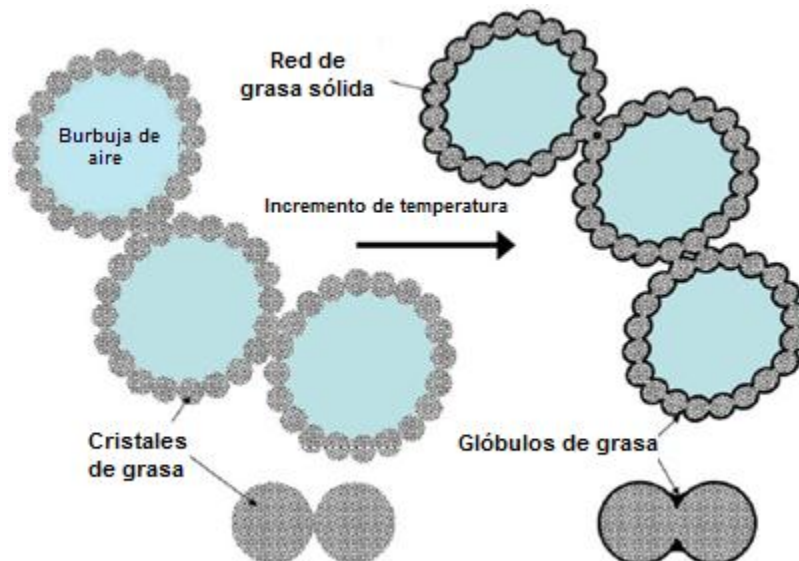


Figura 1.10. Efecto de la temperatura en las emulsiones aireadas (Arboleya *et al.*, 2009).

El temperado consiste en aplicar un ciclo de temperatura que produce la fusión parcial de la masa de cristales de grasa (calentamiento), seguido de la recristalización (enfriamiento). Es una forma efectiva de transformar una crema inicialmente fluida en un material con una consistencia espesa o sólida. Este proceso se ha aplicado desde hace tiempo en cremas sin batir y otras emulsiones.

Bode *et al.* (1992) argumentan que en estos productos, el temperado cambia el tamaño y posición de los cristales sin cambiar otras propiedades de la emulsión; después del temperado, más cristales y más grandes están presentes en la interfase aceite/agua. Los cristales más grandes hacen la emulsión más sensible a la coalescencia parcial y su orientación en la interfase la acentúa. Las conclusiones de Bode son aplicables a emulsiones simples pero no se pueden extrapolar a las cremas batidas, ya que en éstas últimas los glóbulos de grasa están inmovilizados en la red de grasa y la lenta dinámica de esta estructura hace más difícil que se presenten más eventos de coalescencia durante y/o después del temperado.

Drelon *et al.* (2006) examinaron la vida de anaquel y las propiedades reológicas de cremas batidas lácteas sometidas a tratamientos térmicos. Es conocido que estos productos deben ser almacenados a 4 °C inmediatamente después de su preparación, sobre todo cuando son elaborados en ausencia de aditivos en la fase continua (polisacáridos). Después de 48 h de almacenamiento las cremas batidas se desestabilizan llegando a la separación de fases. Demostraron que un ciclo de temperado en las cremas batidas antes de ser almacenadas a 4°C, elevando la temperatura hasta 25°C por 15 minutos con una velocidad de calentamiento/enfriamiento de 1 °C/min, aumenta notoriamente su firmeza y estabilidad de modo que estas cremas batidas pudieron ser almacenadas por más de 15 días sin exhibir ningún cambio significativo en su estructura. Mediciones del diámetro del glóbulo de grasa demostraron que la conectividad entre glóbulos incrementa después del temperado. Un segundo ciclo de temperado no incrementó la rigidez del sistema. El incremento de la fracción de grasa del 25 al 38% también reforzó la estructura de la crema batida.

### **1.1.9 Aplicaciones industriales de la crema batida**

La crema batida es normalmente utilizada como un producto de repostería o panadería y su aplicación específica depende de su consistencia y textura. Por ejemplo, la crema batida que se utiliza como relleno de pasteles u otros panes es más consistente y porosa que la que se utiliza para decorar un pastel. Además es muy común que la crema se coloque en duyas cuya boquilla tiene diferentes formas para realizar con estas figuras decorativas para los pasteles; en este caso es necesario que la crema batida no sea demasiado fluida ya que en ese caso la figura no podrá retener su forma por mucho tiempo, pero si es muy consistente será difícil que salga por la boquilla de manera continua, por lo que su manejo sería complicado.

Actualmente también es común encontrar bebidas frías o calientes, como café y malteadas, en las que se coloca un poco de crema batida en la parte superior; en este caso la crema batida debe tener un buen rendimiento, es decir, que exista gran cantidad de aire incorporado en la crema para que su densidad disminuya y pueda flotar sobre la bebida fácilmente, además también debe ser estable para que no se hunda en la bebida en un corto tiempo.

En México actualmente existen empresas como Chantilly, Rich's, Lincott, Ilsa Frigo, Lactoproductos La Loma y Gloria, entre muchas otras, que producen y comercializan diferentes tipos de crema batida y bases de crema para batir, las cuales pueden ser naturales o saborizadas, elaboradas con ingredientes lácteos o aceites y grasas vegetales o con mezclas de ambos.

Dentro de las diferentes marcas de cremas batidas o bases para batir es común encontrar que se trabajen con al menos dos o tres tipos de éstas, con características e ingredientes distintos.

## 1.2 Pruebas reológicas, texturales y de estabilidad en emulsiones y espumas

### 1.2.1 Propiedades mecánicas y su medición

Las propiedades mecánicas, estudian la forma en la cual los materiales responden ante la aplicación de una fuerza, que puede ser deformándose o fluyendo a través del tiempo. La medición de estas propiedades es campo de la reología y la textura.

El estudio de estas propiedades se puede efectuar mediante cuatro tipos diferentes de pruebas (Casas y Ramírez, 2001):

**∞ Fundamentales.** Se obtienen características que solo dependen del alimento, no del método, instrumento o condiciones de medida. Las pruebas fundamentales son usadas principalmente en la investigación básica y requieren instrumentos sofisticados y costosos, por ejemplo los viscosímetros y reómetros. Se recurre a estas pruebas como apoyo y complemento en la determinación de la estructura de diversos alimentos cuando se quiere caracterizar el comportamiento de los mismos para estudios básicos relacionados con otras de sus características, también para diseño, selección y control de equipo de proceso o para desarrollo de productos o procesos. Hay que tener muy presente que las pruebas fundamentales pierden validez si no se controlan aspectos como el manejo previo de la muestra para colocarla en el reómetro y la historia de la misma.

**∞ Empíricas.** Estas pruebas se efectúan con instrumentos que en la mayoría de los casos son diseñados o contruidos para un material en específico, por lo que los resultados están en función del instrumento, el método, la cantidad de muestra estudiada, la velocidad de prueba, la geometría, las dimensiones y orientación de la muestra y condiciones de la prueba. Todo esto ocasiona que no sean reproducibles, sin embargo, los instrumentos utilizados son sencillos y económicos además de que las pruebas arrojan un solo dato, por ello son ampliamente utilizados en la industria de los alimentos. Los resultados son válidos y comparables solo bajos las mismas condiciones.

**Imitativas.** Tratan de imitar las operaciones humanas sobre los materiales para juzgar su comportamiento mecánico, como la masticación o la presión con los dedos, y asume que las fuerzas de reacción desarrolladas por la muestra representan a las reacciones humanas. De igual modo que en las pruebas empíricas influyen las mismas condiciones. Las pruebas empíricas e imitativas proporcionan herramientas para evaluar las propiedades texturales de manera instrumental y objetiva. Dentro de estos instrumentos se encuentran el farinógrafo y amilógrafo para masas y en especial a la Máquina de Deformación Universal, usualmente conocida como Texturómetro.

**Sensoriales.** Son pruebas realizadas por personas utilizando los sentidos de la vista, el tacto y el gusto, sea que hayan recibido un entrenamiento previo o no, en la cual califican y/o describen la intensidad de los estímulos o atributos percibidos durante distintas etapas de la masticación, o al tocar, oler o ver determinado alimento. Con este tipo de pruebas no se pueden obtener resultados cuantitativos y es necesario realizar una gran cantidad de pruebas para que éstas puedan ser repetibles.

Las pruebas empíricas, imitativas y sensoriales generalmente se aplican a deformaciones y fuerzas grandes que provocan la destrucción del material y suelen referirse como pruebas texturales, mientras que las fundamentales aplican fuerzas o deformaciones pequeñas y corresponden al campo de la reología, por lo que se hace necesario hacer una distinción entre lo que es textura y reología.

La definición de textura difiere de un autor a otro y puede ser más o menos descrita en términos medibles, algunos ejemplos de lo que significa textura son los siguientes:

La textura es el conjunto de atributos que surgen de los elementos estructurales de un alimento y la manera en la que éstos son registrados por los sentidos (Sherman, 1970).

Según deMann (1976) la textura es la forma en la cual varios constituyentes y los elementos estructurales son ordenados en micro y macro estructuras, así como la manifestación externa de estas estructuras en términos de flujo y deformación.



La textura son todos los atributos reológicos y estructurales (geométricos y de superficie) de un producto alimenticio percibidos por medios mecánicos, táctiles y, cuando es apropiado, mediante receptores visuales y auditivos (Bourne, 1985).

La textura percibida para un alimento depende de las estructuras que son formadas por los materiales con los que es elaborado y de la manera en que estas estructuras se comportan dentro de la boca y los componentes que son liberados.

Aunque no se cuenta con una definición precisa de lo que es textura, se puede decir con certeza que la textura de un alimento tiene las siguientes características:

- a. Es un grupo de propiedades físicas que se derivan de la estructura del alimento.
- b. Las propiedades pertenecen al grupo de mecánicas, reológicas o físicas. Las propiedades ópticas, eléctricas y térmicas son excluidas de las definiciones de textura.
- c. La textura consiste en un conjunto de propiedades, no en una sola.
- d. Es percibida principalmente por el sentido del tacto, usualmente en la boca, pero otras partes del cuerpo pueden estar involucradas
- e. No está involucrada con los sentidos del gusto ni olfato.
- f. Las mediciones objetivas de la textura son realizadas únicamente en función de la masa (M) , la distancia (L) y el tiempo (T), ejemplo de esto son la fuerza ( $MLT^{-2}$ ), el trabajo( $ML^2T^{-2}$ ) y el flujo ( $L^3T^{-1}$ ).

Como la textura consiste en diferentes sensaciones físicas, es preferible hablar acerca de propiedades texturales, que se refiere a un grupo de propiedades relacionadas, antes que de textura, que da la idea de un solo parámetro; por ello, es importante reconocer que la textura es un multifacético grupo de propiedades de los alimentos.

Las propiedades texturales de un alimento son un grupo de características físicas que surgen de sus elementos estructurales, estas son percibidas por el sentido del tacto, se relacionan con la deformación, desintegración o flujo que sufre el alimento en presencia de una fuerza y se miden objetivamente por las funciones de tiempo, masa y distancia.

### 1.2.2 Caracterización reológica de bases de crema para batir y cremas batidas

La reología es, en términos simples, el estudio de las propiedades de flujo de un fluido expresadas en términos de viscosidad o como propiedades viscoelásticas.

De acuerdo con Petsev (2004) una emulsión es, en términos reológicos, un sistema bifásico de dos líquidos inmiscibles, uno de los cuales está disperso en el otro en forma de gotas microscópicas o sub-microscópicas. Las dos fases son normalmente agua y aceite produciendo emulsiones aceite en agua o agua en aceite. La presencia de un emulsificante como estabilizante extiende la inevitable separación de las fases y frecuentemente es el principal contribuyente de las propiedades de flujo de todo el sistema.

En un nivel fundamental, la determinación de las propiedades reológicas bajo pequeñas deformaciones puede suministrar información sobre la estructura de la emulsión, el estado de agregación de los glóbulos y la fuerza de interacción entre estos glóbulos. A un nivel comercial o industrial, la medición de estas propiedades bajo grandes deformaciones es utilizada para describir algunas propiedades texturales como la *cremosidad* y también para controlar las propiedades de flujo durante las operaciones industriales, como el mezclado y el bombeo.

La reología de las emulsiones está relacionada con su estabilidad. En general, existen cinco mecanismos de desestabilización de las emulsiones: coalescencia, cremado, floculación, inversión de fases y maduración de Ostwald; de éstos, los que se encuentran con mayor frecuencia son la coalescencia y floculación de los glóbulos lipídicos (Binks, B., 1998).

La reología de una emulsión también se ve influenciada por la fracción volumen o concentración de lípidos. La curva de flujo más simple es la de las emulsiones diluidas, si se grafica la velocidad y el esfuerzo de cizalla se obtiene una relación lineal, de la cual se obtiene la viscosidad debido a que la emulsión presenta un comportamiento newtoniano:

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

En donde:

$\tau$  = Esfuerzo de cizalla (Pa)

$\eta$  = Viscosidad (Pa s)

$\dot{\gamma}$  = Velocidad de cizalla ( $s^{-1}$ )

Si se incrementa un poco la concentración de la fase lipídica ya no se tiene un comportamiento newtoniano, aunque si se obtiene una respuesta lineal, con una curva que intercepta el eje de las ordenadas, si se grafica en un intervalo de 300 a 3500s<sup>-1</sup>. Éste es el comportamiento de Bingham, caracterizado por presentar un esfuerzo de cizalla inicial.

$$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma}$$

En donde:

$\tau$  = Esfuerzo de cizalla (Pa)

$\tau_0$  = Esfuerzo de cizalla inicial (Pa)

$\eta$  = Viscosidad (Pa s)

$\dot{\gamma}$  = Velocidad de cizalla (s<sup>-1</sup>)

En emulsiones concentradas, aproximadamente a partir del 30% p/p de lípidos, el comportamiento reológico comienza a cambiar. Leal-Calderón *et al.*, (2007) describieron las propiedades reológicas de emulsiones concentradas y pudieron observar que las gotas de aceite en las emulsiones con una fracción volumen alta, se encuentran tan densamente empacadas que se deforman con mucha facilidad al aplicar una fuerza. Este comportamiento es descrito por la ley de la potencia, en donde se obtiene una línea recta si la velocidad y esfuerzo de cizalla se grafican en escala logarítmica.

$$\tau = k\dot{\gamma}^n$$

En donde:

$\tau$  = Esfuerzo de cizalla (Pa)

$k$  = Índice de consistencia (Pa s<sup>n</sup>)

$\dot{\gamma}$  = Velocidad de cizalla (s<sup>-1</sup>)

$n$  = Índice de comportamiento al flujo

Las emulsiones son sistemas comprendidos por fluidos, pero a fracciones volumen muy altas los glóbulos de grasa se vuelven notoriamente rígidos y llegan a parecerse a un sólido elástico, por lo que además de su notable deformabilidad presentan esfuerzo inicial. Estas características se describen mediante el modelo de Herschel-Bulkley (HB):

$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n$$

En donde:

$\tau$  = Esfuerzo de cizalla (Pa)

$\tau_0$  = Esfuerzo de cizalla inicial (Pa)

$k$  = Índice de consistencia (Pa s<sup>n</sup>)

$\dot{\gamma}$  = Velocidad de cizalla (s<sup>-1</sup>)

$n$  = Índice de comportamiento al flujo

Existen diferencias estructurales importantes entre la base de crema para batir y la crema batida que se reflejan en su comportamiento reológico; una de ellas es que la base de crema para batir presenta viscosidad inicial ( $\eta_0$ ) a muy bajas velocidades de cizalla, teniendo un comportamiento newtoniano ya que la fuerza aplicada es tan pequeña que los glóbulos de grasa conservan su integridad y no se presenta algún tipo de deformación (Figura 1.11, zona A caso 1), sin embargo su comportamiento es adelgazante a velocidades de cizalla superiores debido a la deformación de los glóbulos y su orientación en dirección del flujo ocasionado por la cizalla (Figura 1.11, zona A caso 3) y a velocidades de cizalla altas se puede encontrar viscosidad infinita ( $\eta_\infty$ ) en donde el comportamiento newtoniano se vuelve a presentar pero con un valor de viscosidad menor a  $\eta_0$  ya que los glóbulos no pueden ser deformados más (Figura 1.11, zona A caso 4). Ahora bien, cuando la crema batida se encuentra en reposo presenta esfuerzo inicial (Figura 1.11, zona A caso 2) debido a las interacciones entre glóbulos parcialmente coalescidos, pero cuando las fuerzas hidrodinámicas (o fuerzas de cizalla) actúan sobre la crema batida y son de igual o mayor magnitud que las fuerzas estructurales (o fuerzas internas) se inducen a nuevas estructuras de acuerdo al tipo, dirección y tiempo de aplicación de la fuerza de cizalla (Windhab, 1995).

Estas diferencias en su estructura hacen que la crema para batir y la crema batida se caractericen de manera distinta. La crema para batir es un fluido, por lo cual se pueden aplicar las pruebas de cizalla estacionaria obteniendo resultados confiables; sin embargo, la crema batida es un material semisólido por lo que es mucho mejor aplicarle pruebas de cizalla oscilatoria. La caracterización reológica bajo pruebas de cizalla estacionaria es una prueba mediante la cual se obtienen las características de flujo. Se utilizan viscosímetros de cilindros concéntricos y se obtienen curvas de flujo que se pueden ajustar a los diversos

modelos matemáticos, los cuales ayudan obtener de manera cuantitativa las propiedades reológicas del material.

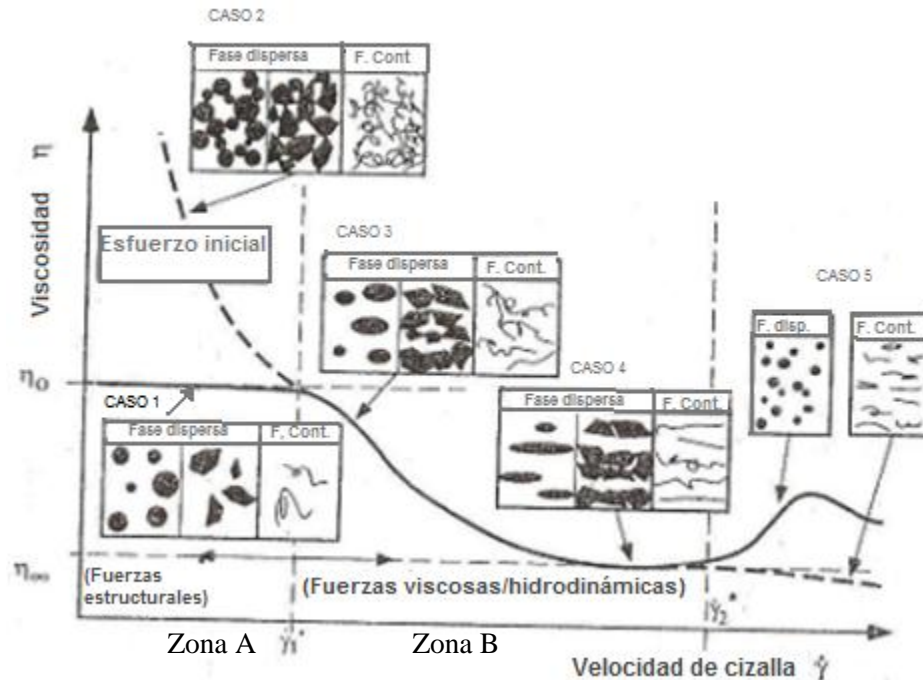


Figura 1.11: Relación cualitativa entre la estructura y reología de un sistema multifase (Windhab, 1995).

Estudios previos han mostrado que en emulsiones aceite en agua con un contenido fijo de aceite (65% p/p) y que contienen tanto proteínas como emulsificantes de bajo peso molecular, las curvas de flujo en estado estacionario obtenidas con diversas concentraciones de aislado proteínico de altramuz muestran en todos los casos un descenso de viscosidad con la velocidad de cizalla, con una tendencia a alcanzar una viscosidad límite,  $\eta_0$ , a muy bajas velocidades de cizalla. El efecto predominante sobre la reología de estas emulsiones puede atribuirse a la disminución de la viscoelasticidad interfacial al reducir la concentración de proteína, a pesar de que el tamaño medio de gota se reduce al incorporar un emulsionante de bajo peso molecular (Raymundo *et al.*, 2001).

La influencia del procesamiento térmico y la adición de carragenina  $\kappa$  sobre las propiedades de una crema líquida para batir (con un contenido de 30% de gasa) fueron estudiadas por Kováčová *et al.*, (2010). Las pruebas reológicas se realizaron con un

reómetro rotacional a 10°C en dónde se incrementó la velocidad de cizalla de 0.1 a 100s<sup>-1</sup>, después se mantuvo la velocidad constante en 100s<sup>-1</sup> por 300s y por último se disminuyó la velocidad de cizalla desde 100 hasta 0.1s<sup>-1</sup>. En casi todos los casos las curvas de flujo se ajustaron al modelo de Herschel-Bulkley. Las cremas líquidas sin carragenina poseen índices de flujo (n) cercanos a la unidad y conforme aumentaba la concentración de este polisacárido en la crema la n disminuía notoriamente.

Un tratamiento UHT con homogenización a alta presión incrementó significativamente la viscosidad aparente a una velocidad de cizalla de 100s<sup>-1</sup>. En las curvas de flujo de ascenso y descenso de las cremas exentas de carragenina tratadas con pasteurización y UHT se observó un comportamiento similar, lo que significaba que eran independientes del tiempo. Un comportamiento tixotrópico (dependiente del tiempo) se observó al adicionar carragenina y especialmente con el tratamiento de homogenización debido a que los glóbulos agregados se rompían y deformaban con el cizallamiento. Un ligero comportamiento reopéctico, en el cual la curva de descenso regresa por encima de la de ascenso, se observó en la crema líquida de referencia (sin carragenina ni tratamiento térmico) probablemente porque se produjeron algunos agregados por la acción del cizallamiento.

Jakubczyk y Niranjana (2006) aplicaron pruebas de cizalla oscilatoria a cremas batidas comerciales que contenían un 35% de grasa de origen animal. Se determinó el módulo elástico (G') y el módulo viscoso (G'') en función de la frecuencia en un reómetro que controla el esfuerzo de cizalla y se encontró que todas las cremas presentan un comportamiento viscoelástico con G' mayor que G'' en todo el intervalo de frecuencia; además G' aumenta con el aumento en la frecuencia.

Para observar los cambios ocurridos durante el proceso de batido se aplicaron pruebas de cizalla oscilatoria a las cremas sin batir y se encontró que a frecuencias mayores a 3Hz, G' es mucho mayor que G'', lo cual es un indicativo de que la crema líquida cuenta con una estructura que fácilmente tiende a la viscoelasticidad. La crema después de 3 minutos de batido tiene un módulo elástico entre 9 y 17 veces mayor que la crema sin batir, de ahí que se concluya que el proceso de batido crea nuevas estructuras y tiene una gran influencia sobre la viscoelasticidad de la crema. Después del batido tanto G' como G'' aumentaron,

aunque  $G'$  en mayor proporción. El tiempo y la frecuencia tienen un efecto directamente proporcional sobre  $G''$  y más notablemente sobre  $G'$ .

### 1.2.3 Pruebas de textura

Las pruebas de textura normalmente son pruebas de tipo empírico o imitativo. Uno de los instrumentos más útiles para realizar este tipo de mediciones por la versatilidad en su uso es el texturómetro, en éste se pueden realizar tres clases de pruebas (Casas y Ramírez, 2001):

**Pruebas globales de textura:** normalmente se conoce a estas pruebas con el nombre de Perfil de textura, el cual trata de imitar el proceso de masticación mediante un ciclo de compresión y descompresión de la muestra, obteniéndose una curva fuerza tiempo que proporciona una descripción global de la textura y proporciona como resultado siete parámetros de textura.

**Pruebas específicas de textura:** son aquellas que proporcionan información más detallada sobre una característica textural, utilizando dispositivos específicos en función de las características del material a evaluar. La forma de realizar la prueba depende de las acciones que se efectúan sobre el alimento en su manejo, proceso, compra, preparación o consumo. También existe la posibilidad de que las condiciones de prueba sean creadas arbitrariamente para evaluar cierta propiedad.

**Pruebas para la cuantificación del comportamiento viscoelástico:** son pruebas que cuantifican el comportamiento viscoelástico sin obtener parámetros fundamentales y no necesariamente dentro de un rango de viscoelasticidad lineal, estas pruebas son: fluencia, relajación y compresión uniaxial.

Las pruebas específicas de textura son las más útiles para poder evaluar de manera concisa las propiedades texturales de la crema batida, además de ser rápidas y fáciles de realizar

### **1.2.3.1 Importancia de las propiedades texturales de las cremas batidas en función de su aplicación**

Como ya se mencionó anteriormente, la crema batida tiene muchas aplicaciones, pero es necesario que cuente con propiedades de textura específicas para cada caso. En la industria de la repostería y panadería muchas veces se hace uso solamente de la experiencia para lograr una crema batida con las características necesarias para la aplicación que es requerida.

Por otra parte, tener un conocimiento cuantitativo de las propiedades de textura que presenta cierta crema batida es necesario para poder hacer una recomendación de la mejor aplicación que ésta tendría en la industria y puede ser una herramienta útil para los sistemas de control de calidad en las empresas que manufacturan este tipo de alimento.

Existen muchas pruebas de textura que podrían ser aplicadas a la crema batida, pero las propiedades de textura que caracterizan a la crema batida, como su adhesividad, dureza o untabilidad se pueden observar mejor mediante la prueba de adhesividad y la de extrusión.

### **1.2.3.2 Pruebas de Extrusión**

En las pruebas de extrusión se coloca el alimento en un recipiente de dimensiones conocidas, llamado normalmente celda de extrusión y al aplicar una fuerza de compresión y cizalla se fuerza al alimento a pasar por un pequeño espacio libre (Figura 1.12).

Existen dos tipos de pruebas de extrusión: la *extrusión positiva*, que es para alimentos semisólidos que no fluyen por la simple acción de la gravedad; en esta prueba una placa de diámetro muy cercano al de la celda de extrusión obliga a pasar al alimento por un pequeño orificio localizado en la parte inferior de la celda (Figura 1.12a y b). La prueba de *extrusión negativa* es para cualquier tipo de fluido, con o sin partículas presentes en él, en esta prueba una placa de diámetro menor al de la celda de extrusión obliga al fluido a pasar por el pequeño espacio anular que se forma entre la placa y las paredes de la celda de extrusión (Figura 1.12c) (Casas y Ramírez, 2001).



De ambas pruebas se obtiene una curva de fuerza en función al tiempo y como resultado se tienen los parámetros de fuerza, trabajo y resistencia inicial a la extrusión.

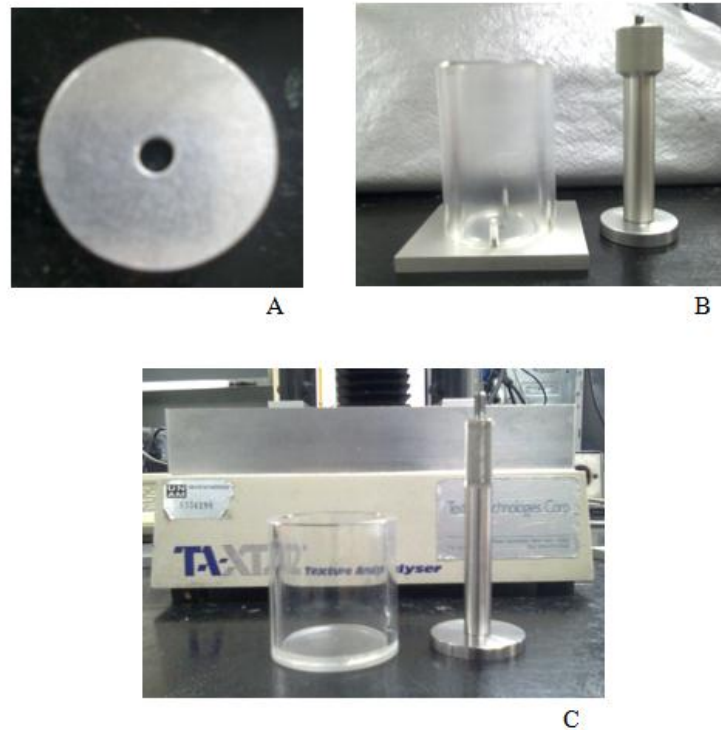


Figura 1.12. Dispositivos de extrusión. a) Placa con orificio, b) celda para la prueba de extrusión positiva y c) Celda para la prueba de extrusión negativa.

### 1.2.3.3 Pruebas de Adhesividad

En las pruebas de adhesividad se pone en contacto un dispositivo de geometría y material definido con el alimento a evaluar por un tiempo, distancia o con una fuerza determinada y se miden las propiedades adhesivas a la retirada del dispositivo (Casas y Ramírez, 2001).

En general, existen dos tipos de pruebas que pueden medir las características adhesivas de un alimento: la prueba de *adhesividad por contacto* en la cual se coloca una pequeña cantidad de muestra, sólo la suficiente para cubrir el área de prueba del dispositivo una vez que se comprime; en esta prueba se controla la fuerza y el tiempo de contacto antes de retirar el dispositivo. Por otra parte, está la prueba de *adhesividad por penetración - retirada* que necesita una mayor cantidad de muestra para que el dispositivo pueda

sumergirse en el alimento hasta determinada distancia para después retirarse. Normalmente la muestra se coloca en un recipiente cuidando que no quede ningún espacio vacío y que la superficie del alimento quede plana.

De ambas pruebas se obtiene una curva de fuerza en función al tiempo y como resultado se tienen los parámetros de fuerza adhesiva, adhesividad, cohesividad, estiramiento y resistencia adhesiva inicial, pudiéndose calcular con base a éstos la untabilidad o facilidad para extender la muestra.

#### **1.2.4 Pruebas de estabilidad**

Como se vio anteriormente, las espumas son sistemas que se desestabilizan con gran facilidad, por ello las pruebas de estabilidad tienen por objeto monitorear al alimento por cierto tiempo para determinar bajo qué circunstancias los fenómenos de inestabilidad tardan más en aparecer.

Hay diferentes técnicas para realizar pruebas de estabilidad en espumas, la más utilizada es la técnica volumétrica por ser una prueba muy sencilla de realizar aunque también existen técnicas más elaboradas y sensibles a los cambios que presenta un alimento bifásico, como son las que se basan en las propiedades ópticas de éste.

##### **1.2.4.1 Drenado de la espuma. Método volumétrico**

Es el método más sencillo y utilizado para determinar la estabilidad de una espuma. Para esta prueba se coloca la espuma o crema batida en un recipiente con forma de copa y se espera a que se desestabilice por la acción de la gravedad y de la presión atmosférica. Como la última fase de la desestabilización de un sistema bifásico es la separación de sus dos componentes, en esta prueba se va recolectando y midiendo en la parte inferior del recipiente el líquido drenado por la espuma (Allen *et al*, 2005).

#### 1.2.4.2 Dispersión óptica de la luz

Un rayo de luz está constituido por ondas magnéticas y eléctricas, las cuales son perpendiculares una a la otra. Una onda electromagnética que incide sobre un cuerpo induce un movimiento eléctrico y magnético dentro de los átomos con lo que se generan ondas electromagnéticas secundarias, las cuales son emitidas en todas direcciones y son observadas como dispersión de la luz (Morrison, y Ross, 2002).

La capacidad de dispersión de la luz por un material con partículas suspendidas incrementa junto con el tamaño y la concentración de dichas partículas. Este fenómeno es el indicador más sensible de los procesos de inestabilidad, como lo son la floculación y la precipitación.

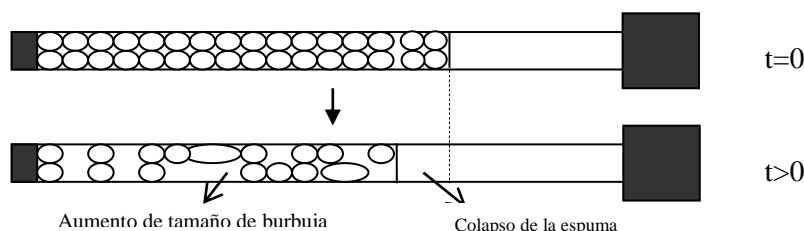
La dispersión de luz no es simplemente luz refractada por la partícula, sino luz que es generada por el movimiento de los electrones de la partícula. Como la intensidad de la luz dispersada aumenta junto con el número y tamaño de los centros de dispersión, las partículas tienen una capacidad mucho más grande de dispersión que los átomos o las moléculas. La dispersión de luz por las partículas y gotas depende de su tamaño y forma y de las propiedades dieléctricas y magnéticas, tanto de la partícula como del medio que la rodea.

Si sólo se considera la dispersión por esferas, las matemáticas de la dispersión de luz se pueden simplificar a tres casos, que están determinados por el radio de la longitud de onda de la luz incidente sobre la partícula de un cierto tamaño. Partículas pequeñas comparadas con la longitud de onda de la luz son tratadas por la teoría de Rayleigh; partículas de un tamaño similar a la longitud de onda son tratadas por medio de la teoría de Mie y las partículas mayores a la longitud de onda se tratan con la teoría de Fraunhofer. La teoría de Mie analiza partículas que tienen un tamaño entre 50 y 200 nm, las partículas de mayor tamaño se analizan de acuerdo con Fraunhofer. Algunas emulsiones, principalmente las homogenizadas con dispositivos de presión pueden ser tratadas mediante la teoría de Mie, para el resto de las emulsiones de tamaño de glóbulo mayor y las espumas se utiliza la teoría de Fraunhofer (Morrison y Ross, 2002).

Con base a estas consideraciones matemáticas existen instrumentos que pueden proporcionar el porcentaje de luz dispersada y el de luz transmitida por un alimento

constituido por partículas, y si esto se hace en intervalos regulares de tiempo se puede obtener una cinética del cambio de tamaño y distribución de estas partículas y con ello es posible analizar los fenómenos de inestabilidad que se están presentando en dicho alimento.

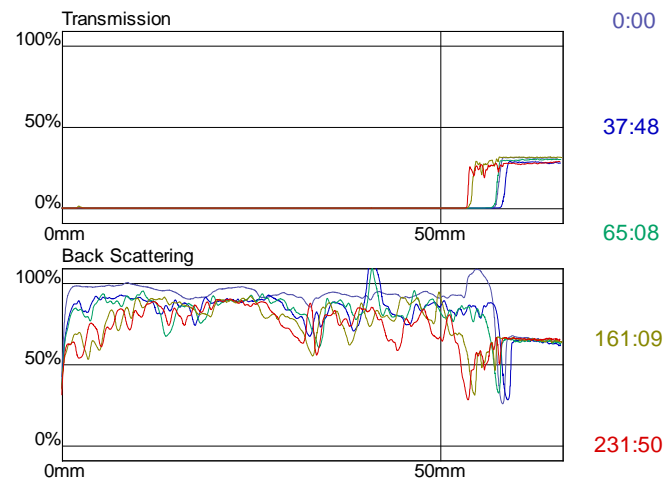
Existen instrumentos ideados para medir la dispersión de la luz en un sistema monodisperso, como es el caso del Turbiscan MA 2000. El principio de medición en que se basa, es hacer incidir sobre la muestra colocada en la celda de medición, una fuente de luz (infrarrojo cercano). Esta fuente de luz se mueve a lo largo de la altura de la celda de medición donde se encuentra la muestra. En función de la concentración y el tamaño de las partículas, la luz incidente sufre una serie de cambios: puede ser dispersada (también llamada retrodispersada) por las partículas del sistema o puede ser transmitida sin mayores cambios, por ello el instrumento tiene un sensor de transmisión y uno de retrodispersión. Al recorrer la distancia donde se encuentra la muestra, el instrumento proporciona curvas de luz transmitida y retrodispersada en función de la distancia de la muestra. Con el paso del tiempo, las muestras empiezan a perder estabilidad y sufren cambios que se pueden manifestar, en el caso de las espumas, como drenado de líquido, aumento del tamaño de burbuja, colapso de la espuma. Estos cambios son detectados por medio de cambios en las curvas de retrodispersión y transmisión. En la Figura 1.13, se representa de manera esquemática los cambios que pueden ocurrir con el tiempo en una espuma colocada en la celda del Turbiscan, que no presenta drenado de líquido, pero sí cambios en el tamaño de burbuja y colapso del volumen de espuma.



*Figura 1.13.* Desestabilización de una espuma. Aumento del tamaño de burbuja y colapso de la espuma

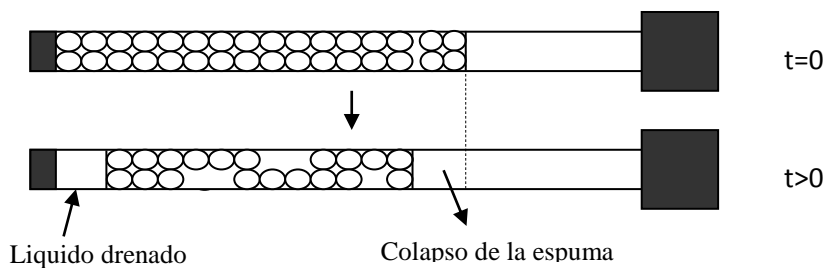
Estos cambios se manifiestan en las curvas de retrodispersión y transmisión como se muestra en las Figuras 1.14 y 1.16, las curvas azules que se muestran en cada gráfica corresponden a los primeros escaneos, le siguen las verdes y la última es la roja.

En la Figura 1.14 se puede observar que la parte de la izquierda (0 mm) corresponde al fondo del tubo y la parte de la derecha al menisco de la muestra. Puede observarse que la muestra prácticamente no presenta transmisión de luz. Al inicio, la retrodispersión es muy alta y conforme transcurre el tiempo, va disminuyendo y se van presentando picos que indican la pérdida de uniformidad del tamaño de burbuja. En la zona del menisco, la transmisión de luz correspondiente a la zona donde ya no hay muestra se va desplazando a la izquierda con el tiempo, debido al colapso de la espuma en la parte superior del tubo.



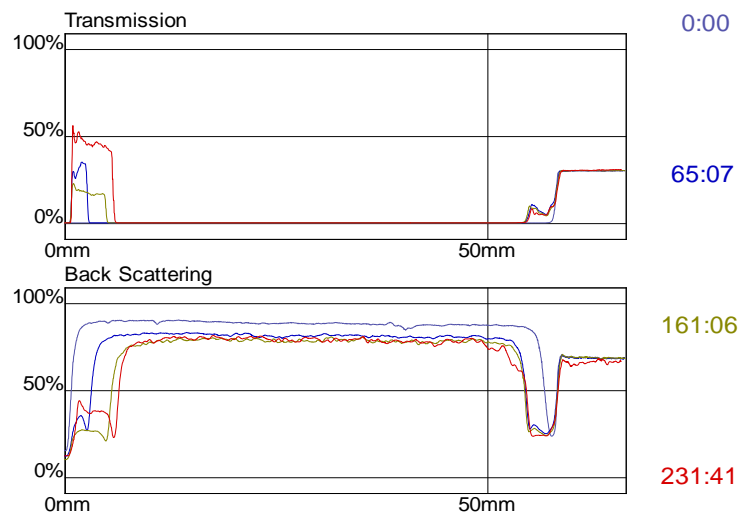
*Figura 1.14.* Curva de transmisión y retrodispersión de una crema batida que presenta colapso del volumen de espuma y aumento del tamaño de burbuja.

Cuando una muestra presenta además, drenado de líquido (Figura 1.15), en la parte del fondo del tubo (0 mm), aparece un pico de transmisión debido a que el líquido (sin partículas dispersas) transmite mucho más luz, si el líquido es transparente.



*Figura 1.15.* Desestabilización de una espuma que presenta drenado de líquido.

En la Figura 1.16 se muestran las curvas de retrodispersión y transmisión de una espuma con drenado de líquido. El pico de transmisión en el fondo del tubo que se hace más ancho con el tiempo, indica el drenado de líquido. En la parte central del tubo disminuye la transmisión por el aumento de tamaño de burbuja, pero no se observan picos muy pronunciados lo que indica que las burbujas son más o menos homogéneas. En la parte superior del tubo se muestra desplazamiento de la superficie de la muestra por colapso de la espuma (Formulation, 2000).



*Figura 1.16.* Desestabilización de una espuma con drenado de líquido, colapso del volumen de espuma y disminución del tamaño de burbuja, con burbujas más o menos homogéneas.

## 2. Metodología de la investigación

### 2.1 OBJETIVOS

#### *General*

Establecer el efecto del tiempo de batido y el tipo de crema para batir sobre las propiedades texturales, la estabilidad y aplicación comercial de las cremas batidas obtenidas.

#### *Particular 1*

Determinar las características de las bases para crema batida por medio de pruebas de caracterización reológica, extrusión negativa, densidad y tamaño del glóbulo de grasa.

#### *Particular 2*

Determinar las propiedades texturales de las cremas batidas obtenidas a distintos tiempos de batido (7, 8 y 9 minutos) bajo diferentes pruebas (extrusión positiva, adhesividad por contacto y adhesividad por penetración), definiendo para cada crema batida su aplicación comercial y la prueba que mejor evalúe sus propiedades texturales.

#### *Particular 3*

Determinar la estabilidad de cremas batidas obtenidas a distintos tiempos de batido (7, 8 y 9 minutos) bajo tres métodos (volumétrico, escaneo óptico y cambio del diámetro de burbuja en función al tiempo) con la finalidad de que se obtenga su cinética de desestabilización.

## 2.2 MATERIALES

Para este trabajo se partió de emulsiones base o, como se conocen en el mercado, cremas líquidas para batir; dos estaban elaboradas a base de aceite vegetal pero con distintos emulsificantes y la tercera con una mezcla de aceite vegetal y grasa de leche de vaca. Toda la materia prima fue proporcionada por la empresa Lactoproductos La Loma, ya que contaban con tres presentaciones distintas de su crema para batir Dulcima®. En cada tipo de crema se compró toda la cantidad necesaria para la experimentación en un mismo lote y con una fecha de caducidad tal que se pudiera trabajar con ella sin que caducara.

La denominación de cada crema líquida para batir y sus ingredientes se enlistan a continuación:

- a. **Dulcima® H3 (vegetal):** Agua, aceite vegetal, grasa vegetal, leche descremada en polvo, gel de celulosa (estabilizante), mono y diglicéridos de ácidos grasos y polisorbato-60 (emulsivos), saborizante artificial, sal, 0.8% de benzoato de sodio y 0.02% de sorbato de potasio.
- b. **Dulcima® Alto rendimiento, AR (vegetal):** Jarabe de maíz, agua, aceite de semilla de palma parcialmente hidrogenado, caseinato de sodio, goma celulosa y xantana (estabilizantes), monoglicéridos de ácidos grasos, polisorbato-60 y lecitina de soya (emulsivos), saborizante artificial, sal, 0.8% de benzoato de sodio y 0.02% de sorbato de potasio
- c. **Dulcima® Extra Láctea, LC (mixta):** Agua, grasa de leche de vaca (18% min), aceite de soya y/o palma y/o coco, leche descremada en polvo, mono y diglicéridos de ácidos grasos (emulsivos), goma celulosa y carragenina (estabilizantes), colorante natural (betacaroteno) y artificial (tartrazina), saborizante natural y artificial y 0.05% de sorbato de potasio

### Preparación de las cremas batidas

Para elaborar las cremas batidas se utilizó una batidora planetaria (Kitchen Aid, Heavy Duty, USA) con un batidor de globo y a la velocidad media. Se batió a la temperatura y



tiempo sugeridos por el proveedor (5-10°C) por 7, 8 ó 9 minutos, de acuerdo con los objetivos experimentales.

Las bases y las cremas batidas se conservaron en refrigeración, a una temperatura no mayor a 4°C.

## **2.3 MÉTODOS**

### **2.3.1 Métodos utilizados en las cremas líquidas para batir**

#### ***2.3.1.1 Obtención picnométrica de densidad***

Las determinaciones de densidad a las cremas líquidas se realizaron por picnómetros, que son recipientes con un volumen calibrado a cierta temperatura. Se utilizaron tres picnómetros, dos con un volumen de 50 cm<sup>3</sup> y un tercero de 25 cm<sup>3</sup>. Primero se pesó el picnómetro vacío y luego se llenó completamente el recipiente con el fluido a analizar y se volvió a pesar. La densidad se obtiene como diferencia de pesos entre el picnómetro lleno y el vacío, dividida entre el volumen correspondiente. Primero se determinó la densidad del agua, como fluido de referencia, y después la de las cremas líquidas para obtener la densidad relativa como el cociente de la densidad de la crema líquida entre la densidad del agua.

#### ***2.3.1.2 Microscopia de la crema líquida***

Las mediciones de microscopia óptica en la crema líquida se realizaron en un microscopio óptico (Olimpus, CX31, Filipinas). Los objetivos utilizados fueron Ach 40x/0.65 Ph 2 $\infty$ /0.17 (en el caso de H3 y LC) y Ach 100x/1.25 oil Ph 3  $\infty$ /- (en el caso de AR). Se tomaron tres fotografías de distintos puntos de la muestra con una cámara especialmente adaptada al microscopio (Evolution, LC, Japón) y con ayuda de un software de medición (Image Pro Discovery) se observó la forma y se midió el diámetro de 50 glóbulos lipídicos en cada una de las fotografías obtenidas.

### ***2.3.1.3 Caracterización reológica***

Para la determinación del comportamiento al flujo de las cremas líquidas se utilizó el reómetro de cilindros concéntricos (Physica, LS100, Alemania) con una geometría de doble espacio anular (DG1). En el equipo se controló el esfuerzo de cizalla ( $\sigma$ ) a través del torque (M) y se midió la velocidad de cizalla ( $\dot{\gamma}$ ) y viscosidad aparente ( $\eta$ ) resultantes. La caracterización reológica de las muestras se dividió en tres segmentos, como se muestra a continuación:

Para las cremas H3 y LC:

1. Precizamiento (1 mNm, 60 s)
2. Curva de ascenso (0.3 - 8.3 mNm, 120 s)
3. Curva de descenso (8.3 - 0.3 mNm, 120 s)

Para la crema AR:

1. Precizamiento (5 mNm, 60 s)
2. Curva de descenso (5.0 - 0.3 mNm, 120 s)
3. Curva de descenso (0.3 - 8.3 mNm, 120 s)

Las velocidades de cizalla varían un poco de una crema a otra dependiendo de su consistencia. A cada una de las muestras se le realizaron tres réplicas bajo las mismas condiciones. Los datos se ajustaron a un modelo potencial.

### ***2.3.1.4 Prueba de extrusión negativa***

La prueba de extrusión negativa para las cremas líquidas se realizó en un texturómetro (Texture Analyzer TA-TX2, Stable Microsystems, Reino Unido) utilizando una celda de carga de 25 N y como dispositivo la celda de extrusión negativa con diámetro interno de 49.95 mm y altura de 58.21 mm con la placa de acero inoxidable de 45 mm de diámetro existiendo un espacio anular entre ellos de 2.5 mm; el dispositivo se llenó hasta una altura, de 30 mm, lo que correspondía a 75 g de muestra, aproximadamente. El modo de operación del instrumento fue: medida de fuerza en compresión. Las condiciones de prueba fueron las siguientes: velocidad de acercamiento de 1 mm/s, velocidad de prueba de 3 mm/s y

velocidad de retirada de 3 mm/s, distancia de compresión de 25 mm, fuerza de contacto de 5 gf y temperatura de 10°C. De la prueba se obtuvo una curva de fuerza en función del tiempo como la que se muestra en la Figura 2.1.

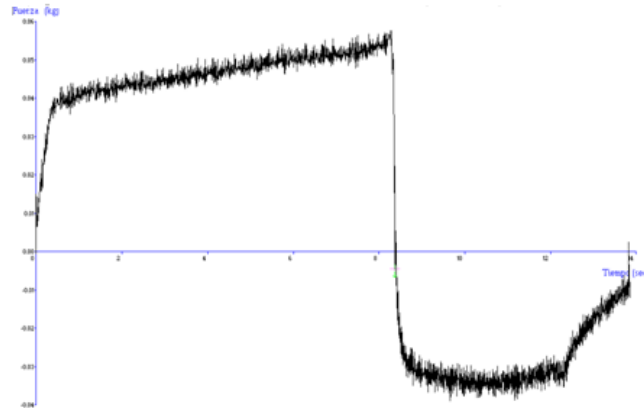


Figura 2.1. Curva fuerza-tiempo característica de la prueba de extrusión negativa.

Los parámetros texturales obtenidos de esta prueba son:

*Fuerza máxima de extrusión (N)*: es el pico máximo en el área positiva y su posición en la gráfica indica el comportamiento interno de la muestra. Si la fuerza máxima está al inicio del proceso de extrusión puede ser porque la muestra se adhirió al dispositivo o porque perdió gran parte de su estructura interna. Si la fuerza máxima se encuentra al final del proceso indica que la estructura interna se está haciendo más compleja, por lo que predomina el fenómeno de compresión (Bourne, 1985).

*Fuerza media de extrusión (N)*: es el promedio de la fuerza desde que inicia el proceso de extrusión, el cual se puede distinguir por un cambio drástico en la pendiente del área positiva, hasta que éste finaliza.

*Trabajo de extrusión (N s)*: es el área bajo la curva en los valores positivos. Indica la fuerza por unidad de área que es necesario ejercer para que se lleve a cabo la prueba de extrusión.

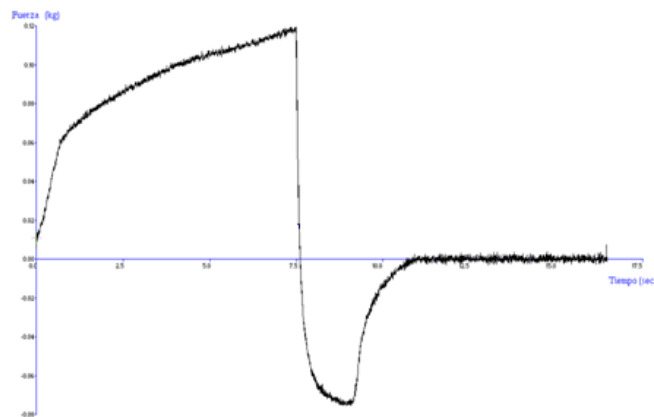
*Resistencia inicial a la extrusión (N/s)*: es la pendiente inicial del área positiva y es un indicativo de la complejidad estructural del alimento y de la cantidad de espacios de aire que contiene la muestra.

## **2.3.2 Métodos utilizados en las cremas batidas**

### **2.3.2.1 Pruebas de textura**

#### ***2.3.2.1.1 Prueba de adhesividad por penetración***

La prueba de adhesividad por penetración - retirada para las cremas líquidas se realizó en un texturómetro (Texture Analyzer TA-TX2, Stable Microsystems, Reino Unido) utilizando una celda de carga de 25 N y como dispositivos un cilindro de acrílico de una pulgada de diámetro y cajas Petri con dimensiones de 49.3x15.4 mm, en donde se colocó la muestra; para ello se utilizó una espátula con la que se esparcía homogéneamente la crema batida en toda la caja evitando que hubiera algún espacio con aire que afectara la prueba, la caja Petri se llenaba por completo y al final se dejaba la superficie lo más lisa posible y se guardaba en un recipiente con tapa para impedir que se resecara la superficie. El modo de operación del instrumento fue: Medida de fuerza en compresión. Las condiciones de prueba fueron las siguientes: velocidad de acercamiento de 2 mm/s, velocidad de prueba de 1 mm/s y velocidad de retirada de 5 mm/s, distancia de penetración de 7.5 mm, distancia a la que se retiró el dispositivo de 55 mm, lo que equivalía a 40 mm por arriba de la superficie de la muestra, fuerza de contacto de 10 gf y temperatura de 10°C. De la prueba se obtuvo una curva de fuerza en función del tiempo como la que se muestra a continuación:



*Figura 2.2.* Curva fuerza-tiempo característica de la prueba de adhesividad por penetración.

Los parámetros texturales obtenidos de esta prueba son:

*Fuerza adhesiva (N)*: fuerza negativa máxima, que es la requerida para despegar el material del dispositivo de prueba.

*Trabajo adhesivo (N s)*: área negativa desde que ésta inicia hasta la fuerza máxima, indica la capacidad del material para formar enlaces estables con las moléculas de un material distinto al estar ambos en contacto.

*Trabajo cohesivo (N s)*: área negativa desde la fuerza máxima hasta que los valores de fuerza llegan a cero o a un valor constante; indica la fuerza entre los enlaces de las moléculas del material.

*Adhesividad (N s)*: es la suma del trabajo adhesivo más el trabajo cohesivo y abarca toda el área negativa de la gráfica obtenida

*Resistencia adhesiva inicial (N/s)*: la primera pendiente en el área negativa y muestra la oposición del material a la retirada del dispositivo de prueba.

*Estiramiento (mm)*: distancia entre el inicio de la curva negativa hasta que los valores de fuerza llegan a cero o se hacen constantes e indica qué tanto el material se puede extender durante la retirada antes de romperse el hilo que se forma (Casas y Ramírez, 2001).

*Untabilidad (mm/N s)*: es el cociente del estiramiento entre el área negativa; este parámetro muestra la facilidad con que un material se puede extender sobre una superficie.

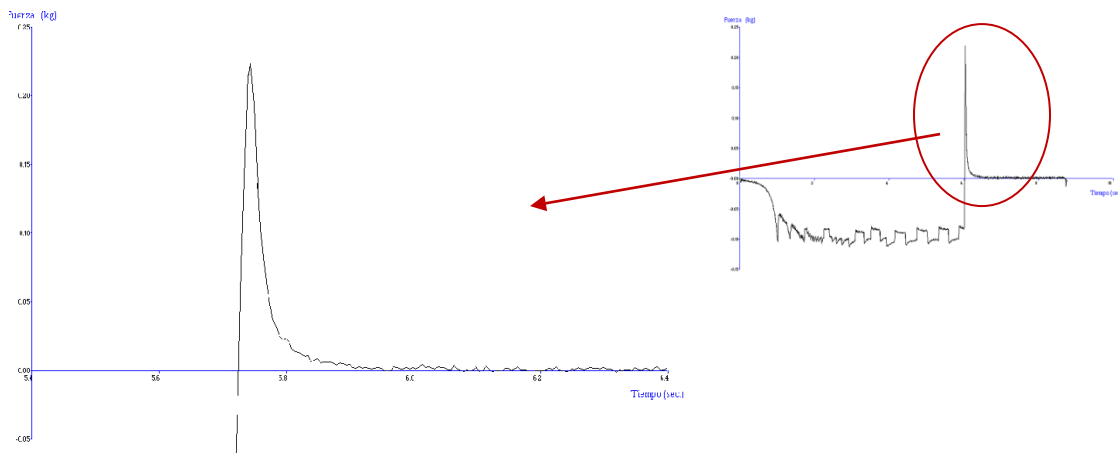
*Relación cohesión/adhesión*: cociente entre el trabajo cohesivo y el adhesivo, e indica cual de los dos comportamientos predomina en el material. Si los valores son mayores a 1, las fuerzas cohesivas prevalecen, y si los valores son menores a 1 las fuerzas adhesivas tienen mayor influencia.

*Dureza (N)*: fuerza necesaria para penetrar una distancia establecida (fuerza positiva máxima).

*Trabajo de penetración (N s)*: es el área bajo la curva de compresión desde el inicio hasta la fuerza positiva máxima. Indica la fuerza por unidad de área que es necesario ejercer para que el dispositivo penetre en el material.

### 2.3.2.1.2 Prueba de adhesividad por contacto

La prueba de adhesividad por contacto para las cremas líquidas se realizó en un texturómetro (Texture Analyzer TA-TX2, Stable Microsystems, Reino Unido) utilizando una celda de carga de 25 N y un cilindro de acrílico de una pulgada de diámetro como dispositivo. La muestra se colocó sobre la base del texturómetro tratando de que quedara en el centro del cilindro y de poner la cantidad adecuada, de tal modo que, después de la compresión, cubriera toda el área de prueba del dispositivo, pero sin que se saliera por tener exceso. El modo de operación del instrumento fue: Prueba de adhesividad. Las condiciones de prueba fueron las siguientes: velocidad de acercamiento de 2 mm/s, velocidad de prueba de 2 mm/s y velocidad de retirada de 10 mm/s, la fuerza de compresión fue de 100 g, la cual fue aplicada durante un tiempo de 5 segundos y el dispositivo se retiró hasta una distancia de 25 mm, una fuerza de contacto de 5 gf y temperatura de 10°C. De la prueba se obtuvo una curva de fuerza en función del tiempo como la que se muestra a continuación.

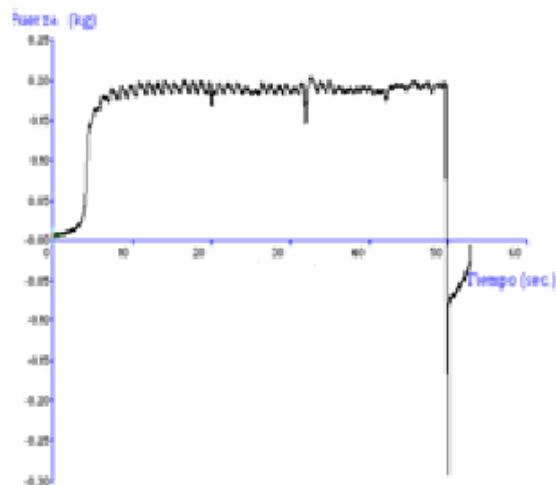


*Figura 2.3.* Curva fuerza-tiempo característica de la prueba de adhesividad por contacto. En el inserto se muestra la curva completa y la zona ampliada para el cálculo de las propiedades adhesivas.

De esta prueba los parámetros texturales obtenidos fueron fuerza adhesiva, trabajo adhesivo, trabajo cohesivo, resistencia adhesiva inicial, estiramiento, untabilidad y relación cohesión/adhesión, los cuales han sido descritos anteriormente, pero en este caso los parámetros se calcularon en el área positiva

### ***2.3.2.1.3 Prueba de extrusión positiva***

La prueba de extrusión positiva para las cremas batidas se realizó en un texturómetro (Texture Analyzer TA-TX2, Stable Microsystems, Reino Unido) utilizando una celda de carga de 25 N y como dispositivo la celda de extrusión positiva con diámetro interno de 49.79 mm y altura de 101.78 mm con la placa de acero inoxidable de 48.97 mm de diámetro que consta de un orificio central de 5 mm de diámetro; el dispositivo se llenó hasta una altura de 50 mm, lo que correspondía a 480 g de muestra, aproximadamente. El modo de operación del instrumento fue: medida de fuerza en compresión. Las condiciones de prueba fueron las siguientes: velocidad de acercamiento de 1mm/s, velocidad de prueba de 0.5 mm/s y velocidad de retirada de 10mm/s, distancia de compresión de 25 mm, fuerza de contacto de 10 g y temperatura de 10°C. De la prueba se obtuvo una curva de fuerza en función del tiempo como la que se muestra a continuación:



*Figura 2.4.* Curva fuerza-tiempo característica de la prueba de extrusión positiva.

De esta prueba los parámetros texturales obtenidos fueron fuerza media de extrusión, trabajo de extrusión y resistencia inicial a la extrusión, ya descritos anteriormente.

### **2.3.2.2 Pruebas de estabilidad**

#### ***2.3.2.2.1 Drenado de líquido. Método volumétrico***

Para determinar la cantidad del líquido drenado por las cremas batidas en función del tiempo se utilizaron copas de estabilidad (Figura 2.5), las cuales están formadas por un vaso

de precipitados de 150 mL que en su base tiene integrada una probeta de 10 mL de capacidad. El vaso de precipitados se llenó por completo con la crema batida. Para evitar que la crema batida bajara por gravedad hacia la probeta se colocó previamente en la base del vaso una cama de lana o fibra de vidrio. El líquido drenado se acumula en la probeta y su volumen se midió cada hora hasta alcanzar el volumen máximo de la probeta o hasta que el volumen permaneciera constante por un lapso de 5 horas como mínimo.



*Figura 2.5.* Copas de estabilidad para determinar el líquido drenado por las espumas a través del tiempo

#### ***2.3.2.2.2 Microscopia de la crema batida***

Las mediciones de microscopia óptica en crema batida se realizaron cada hora durante un periodo de 12 horas a partir de que fueron elaboradas con el mismo equipo que se usó en las cremas líquidas (sección 2.3.1.2), sólo que en este caso el objetivo utilizado fue Ach 10x/0.25 Ph 1  $\infty$ /. Se siguió el mismo procedimiento para obtener la forma y el diámetro de las burbujas de aire con la única diferencia de que en la mayoría de las fotografías no se podían contabilizar 50 burbujas, ya que esto dependía de su diámetro y distribución, pero se trató de obtener al menos diez mediciones de cada fotografía.



### 2.3.2.2.3 Escaneo óptico

El monitoreo de la estabilidad de las cremas batidas fue mediante la técnica de dispersión óptica de la luz, para ello se utilizó el equipo Turbiscan MA 200 (Formulacion, Francia) en el que se colocaba un tubo especial para el equipo, éste estaba abierto por ambos extremos, la parte superior se encontraba roscada para poder colocar la tapa y en la inferior se colocaba un tapón con un empaque, ambos de hule, de tal manera que impedían que la muestra se saliera, como se muestra en la Figura 2.6, sus dimensiones son 139.43 mm de longitud y 12.31 mm de diámetro.



*Figura 2.6.* Tubos utilizados en el equipo Turbiscan MA 2000 para el estudio de la dispersión de luz por una muestra de crema batida.

Los tubos se llenaban con la muestra hasta una altura de 6 cm, aproximadamente, para ello se hundía ligeramente el tubo en la crema y se aspiraba con suavidad por la parte superior para que la crema subiera lentamente y así evitar que existieran espacios de aire, era muy importante que las paredes del tubo estuvieran limpias en todo momento porque de otro modo esta suciedad podría causar error durante las mediciones. Después se colocaban el tapón de hule y la tapa de rosca y se limpiaba el tubo perfectamente por fuera.

Los escaneos se realizaban a temperatura ambiente (23-25°C) cada hora durante 12 horas seguidas y después a las 24 horas de haber preparado la muestra. Se obtenían curvas de transmisión y retrodispersión de la luz en modo de referencia, tomando como tal, la curva inicial (tiempo cero). Una vez terminados los escaneos, de las curvas de transmisión y retrodispersión se identificaron los fenómenos a través de la presencia de picos o cambios en la magnitud de la luz transmitida o dispersada. En las zonas identificadas se obtenían las

cinéticas de espesor absoluto, con ayuda de un software de medición (Turbisoft), las cuales indicaban el aumento del espesor con el tiempo de la zona correspondiente al fenómeno identificado. Los datos obtenidos de espesor en función del tiempo se exportaron al programa Excel® y las curvas obtenidas se ajustaron a modelos matemáticos para obtener la velocidad con la que se presentaba el fenómeno que se estaba analizando (drenado del líquido, aumento del tamaño de burbuja o colapso de la espuma), o algún otro parámetro relacionado.

### **2.3.3 Tratamiento estadístico**

A todos los resultados experimentales de las cremas líquidas se les realizó un análisis de varianza de una vía para ver el efecto que tenía la variable en estudio (tipo de crema) sobre los parámetros estudiados con un nivel de confiabilidad del 95% ( $\alpha=0.05$ ). Para saber entre cuáles de las variables estudiadas existía diferencia significativa se realizaron comparaciones tipo Tukey, con igual grado de confiabilidad.

En las pruebas realizadas a las cremas batidas se realizó un análisis factorial de dos niveles en donde las variables implicadas eran el tipo de crema batida y el tiempo de batido, esto con la finalidad de observar la influencia de cada variable y de la interacción de ellas sobre los parámetros estudiados, utilizando un nivel de confiabilidad del 95% y aplicando igualmente las comparaciones de Tukey. Si la interacción entre variables era significativa entonces se analizaba por separado la influencia de las variables mediante un análisis de varianza de una vía con un nivel de confiabilidad del 95% y utilizando las comparaciones tipo Tukey.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Emulsión base

##### 3.1.1 Caracterización física de las cremas líquidas para batir

Como parte de la caracterización física de las cremas líquidas se obtuvieron los valores de densidad relativa, diámetro del glóbulo de grasa y los correspondientes a la prueba de extrusión negativa, los dos primeros parámetros se pueden observar en el Cuadro 3.1:

Cuadro 3.1. *Caracterización de los diferentes tipos de crema líquida para batir Dulcima® mediante las pruebas de densidad picnométrica y tamaño del glóbulo de grasa.*

Tipo de crema	Densidad relativa	Diámetro glóbulo ( $\mu\text{m}$ )
H3	$1.029^a \pm 0.007$	$3.02^a \pm 0.84$
AR	$1.120^b \pm 0.009$	$2.97^a \pm 0.54$
LC	$1.012^a \pm 0.014$	$3.02^a \pm 0.51$

*Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$*

La densidad de los diferentes tipos de cremas líquidas es estadísticamente igual entre H3 y LC y sólo AR es diferente, siendo ésta la que presenta el mayor valor; lo que hace suponer que tiene una mayor cantidad de sólidos totales, los cuales pueden tener influencia sobre el valor de densidad global de la muestra. Sin embargo, aunque poseen diversos componentes que hacen que el valor de la densidad aumente, como las sales y azúcares, también están constituidas por un porcentaje alto de lípidos (30-40%), los cuales son menos densos que el agua; esta composición hace que todas las emulsiones presenten valores cercanos a la densidad del agua, que fue el fluido de referencia.

En cuanto al diámetro del glóbulo lipídico no existe diferencia significativa entre las tres cremas, cuyo valor es muy cercano a  $3 \mu\text{m}$  y se encuentra dentro de los valores reportados en cremas líquidas para batir (Cuadro 1.1), esto también muestra que se sigue un proceso de homogenización similar en todos los casos. En cada crema líquida se promediaron 150 valores y la desviación estándar obtenida indica que son emulsiones polidispersas (con diferentes tamaños de glóbulo de lípido).

### 3.1.2 Caracterización reológica

Cada una de las cremas líquidas fue sometida a una etapa de precizallamiento con la finalidad principal de eliminar las burbujas de aire que quedaban atrapadas al colocar la muestra en el recipiente de prueba; este precizallamiento no permitió evaluar  $\eta_0$ , como lo han reportado otros autores (Raymundo *et al.*, 2001), y en algunos casos tampoco fue suficiente para alcanzar una viscosidad constante. De los datos obtenidos durante el precizallamiento se pudo calcular la viscosidad que presentaban las cremas al aplicar un esfuerzo de cizalla constante durante un espacio de tiempo determinado (Figura 3.1). Para cada crema se presentan dos repeticiones, porque al ser sistemas muy heterogéneos fue difícil obtener resultados similares para cada repetición, de ahí que se escogieran las repeticiones que muestran la misma tendencia, aunque los valores de viscosidad difieran un poco entre sí.

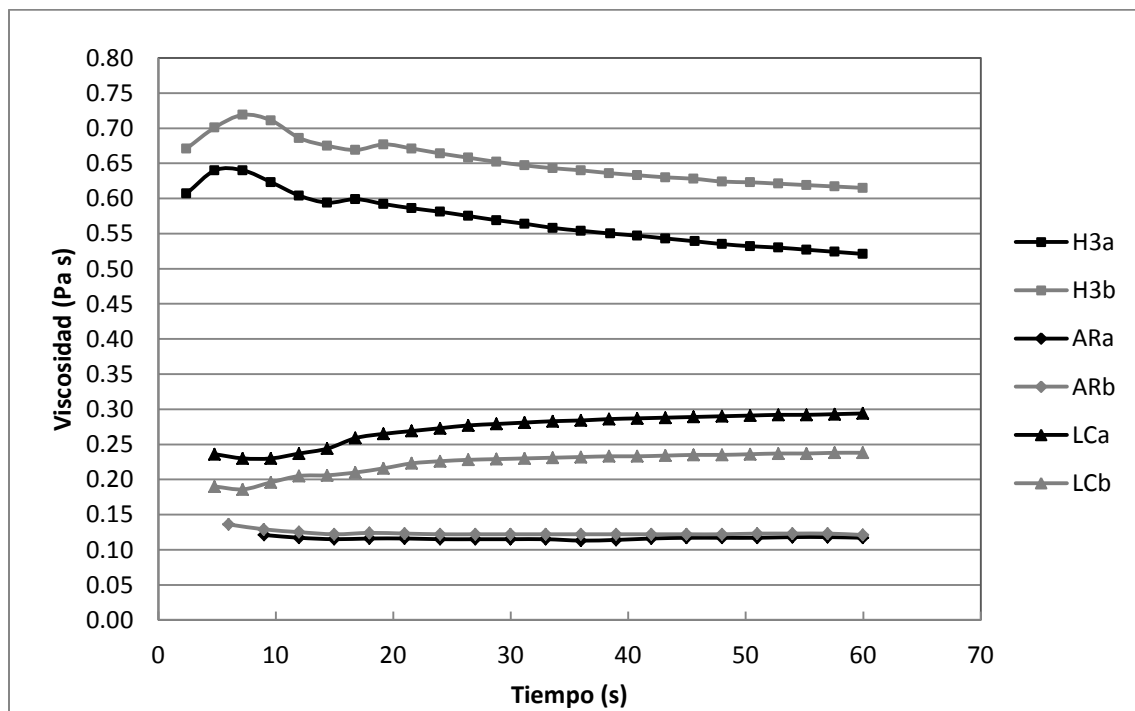


Figura 3.1. Curva de viscosidad en función al tiempo de los distintos tipos de cremas líquidas marca Dulcima®.

Al principio del precizallamiento existió un poco de variación en los valores de viscosidad para cada crema, pero a partir de los 20 s se observa una tendencia bien definida en cada caso; en la crema H3 se muestra claramente que su viscosidad disminuye con respecto al

tiempo, es decir, se va haciendo más fluida, característica del comportamiento tixotrópico; la viscosidad de LC aumenta con respecto al tiempo, llegando a ser un poco más consistente que en un principio, característica de un comportamiento antitixotrópico, y la crema AR mantiene valores de viscosidad casi constantes durante todo el intervalo analizado, debido a esta dependencia del tiempo se analizan por separado las curvas de ascenso y descenso de la velocidad de cizalla.

Al aplicar el programa de velocidad de corte ascendente-descendente, la curva de flujo obtenida muestra que las tres cremas líquidas siguen el modelo reológico de la potencia (Figura 3.2). Al comparar las curvas de los segmentos 2 y 3 se observa que en la crema H3 la curva 2 (ascenso) está por arriba de la 3 (descenso), por lo que es adelgazante con respecto al tiempo de cizallamiento y la velocidad de cizalla, pero las cremas AR y LC se comportan de manera diferente, porque la curva 3 está por encima de la curva 2, así que aunque también son adelgazantes a la cizalla espesan con respecto al tiempo de cizallamiento, este comportamiento es mucho más pronunciado en LC. En la figura se incluye una muestra LC que no fue precizallada (sp) porque en esta crema el precizallamiento tuvo un efecto adverso en las curvas de flujo y viscosidad al no poder obtener replicas muy similares.

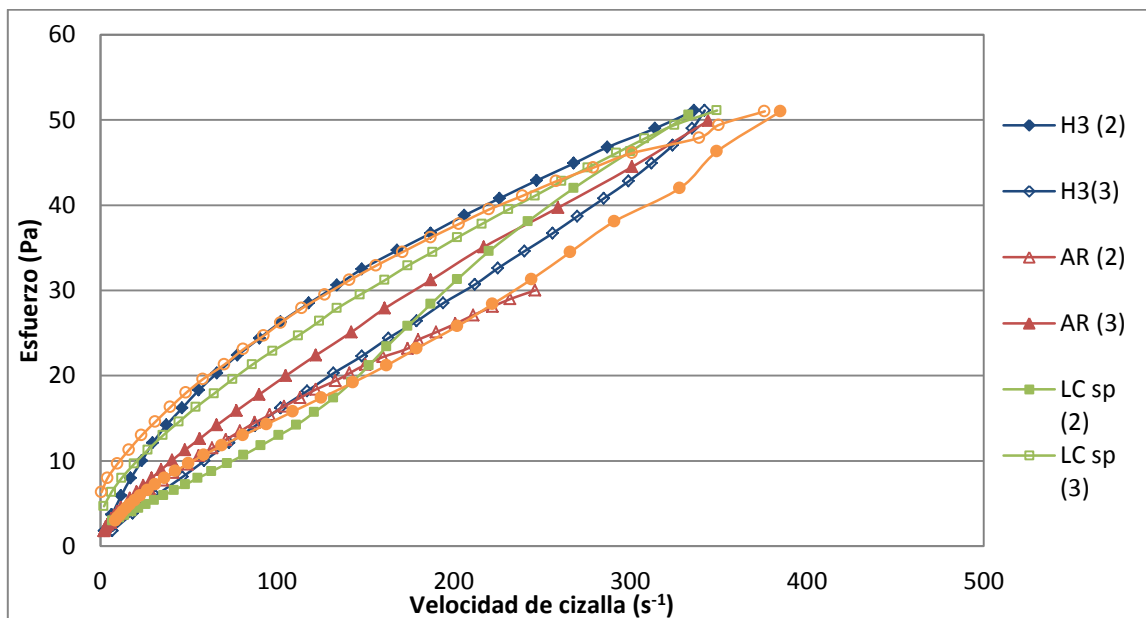
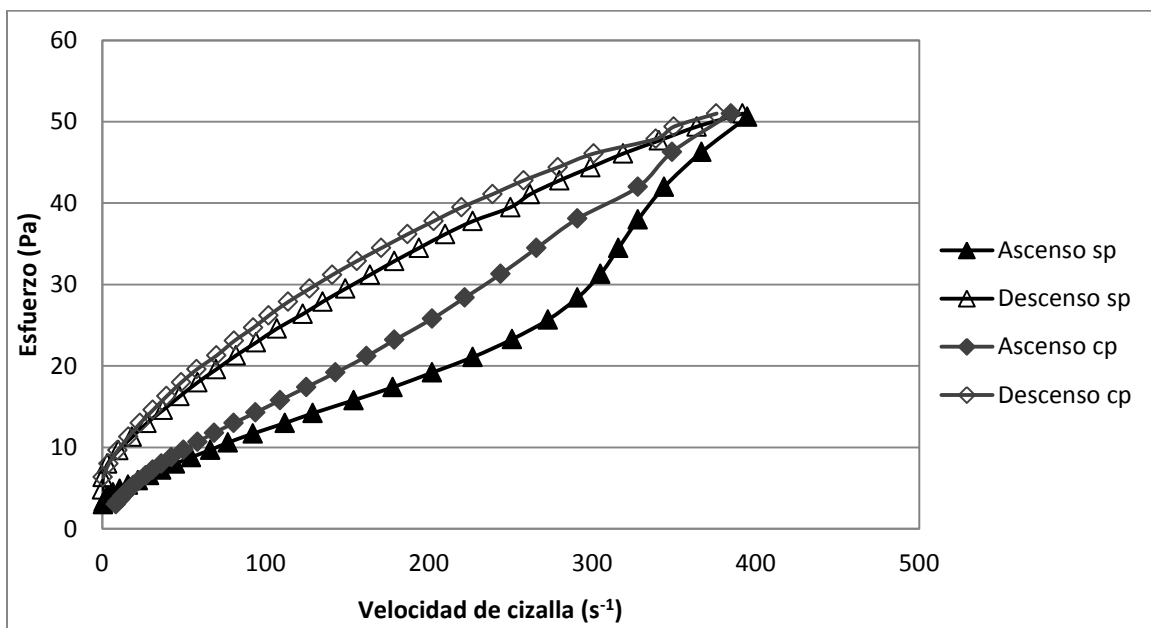


Figura 3.2. Curva de flujo de los distintos tipos de cremas líquidas marca Dulcima®. (Abreviaturas: sp = sin precizallamiento, cp = con precizallamiento).

En el caso de la crema LC se presentan dos condiciones diferentes en las Figuras 3.2 y 3.4, una corresponde a la curva de flujo sin que la crema fuera sometida a la etapa de precizamiento (sp) y la otra curva es una curva de flujo después de un precizamiento corto (cp) esto fue porque LC resultó ser la crema más heterogénea de todas, por lo cual se obtenían curvas sin una tendencia definida y poca repetibilidad, en especial la curva de ascenso, así que se decidió probar las dos condiciones para encontrar con cuales se obtenían resultados más similares entre repeticiones. En la Figura 3.3 se hace la comparación entre las curvas obtenidas con las dos condiciones de prueba y se puede observar que hay una reducción en el espacio entre las curvas al aplicar un precizamiento (cp) y que la curva de ascenso se ajusta mejor al modelo de la potencia.

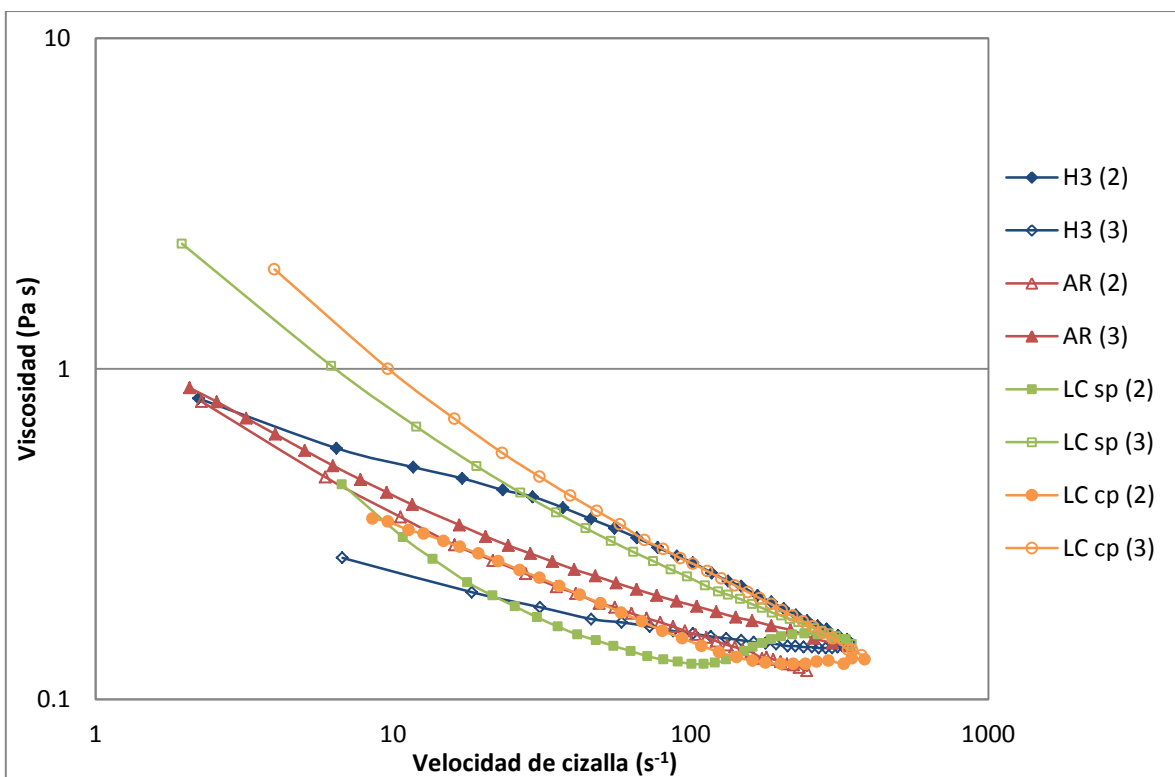


*Figura 3.3.* Curva de flujo de la crema líquida para batir marca Dulcima® Éxtra (láctea). Las abreviaturas sp = sin precizamiento, cp = con precizamiento.

En general al aplicar un precizamiento se obtienen curvas que siguen el modelo de la potencia, teniendo resultados más o menos similares entre repeticiones y en las curvas sin precizamiento no se pudieron obtener réplicas en cuanto al comportamiento de la crema.

La Figura 3.3 también muestra que a bajas velocidades de cizalla las curvas de ascenso y descenso se superponen para ambas condiciones y lo mismo ocurrió con las demás

repeticiones, por ello se decidió tomar los datos obtenidos hasta una velocidad de  $100 \text{ s}^{-1}$  para obtener los parámetros reológicos de esta crema. Los parámetros de ascenso en LC cp se ajustaron mucho mejor al modelo de la potencia al considerar sólo hasta  $100 \text{ s}^{-1}$  (mostraron coeficientes de correlación de 0.99) mientras que los parámetros de descenso tuvieron coeficientes más bajos (0.92-0.93) y tienen una variación mayor entre repeticiones que si se toma la curva completa, lo cual puede deberse a que velocidades de cizalla superiores a  $100 \text{ s}^{-1}$  afectan de manera considerable a la crema para batir haciendo que sus componentes interactúen de tal manera que modifican la estructura de este alimento.



*Figura 3.4.* Curva de viscosidad de los distintos tipos de cremas líquidas marca Dulcima®. Las abreviaturas sp = sin precizallamiento, cp = con precizallamiento.

Con las curvas obtenidas se calcularon los parámetros de la ley de la potencia para cada segmento de cada crema. En las curvas de comportamiento al flujo y de viscosidad (Figuras 3.2 y 3.4) se puede notar que para la crema líquida H3, el aumento en el cizallamiento hace que los aglomerados presentes en ella, formados por glóbulos grasos, emulsificantes y

estabilizantes entre otros, se vayan separando hasta llegar a ser entes individuales o estructuras diferentes, como se esquematiza en la Figura 1.11, por eso la curva del segmento 2 (ascenso) en escala logarítmica de la Figura 3.4 se va linealizando conforme aumenta la velocidad de cizalla. Estas partículas se vuelven a aglomerar poco o nulamente por lo que la curva del segmento 3 (descenso) muestra un comportamiento más cercano al de un fluido newtoniano, ya que dicha curva es casi recta (Figura 3.2) y tiene un índice de comportamiento al flujo próximo a 1 (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. *Parámetros reológicos de crema para batir marca Dulcima® H3, AR y LC, está última bajo dos condiciones de prueba diferentes, con un precizamiento (cp) y sin precizamiento (sp).*

Tipo de crema	Ascenso		Descenso	
	n	k (Pa s <sup>n</sup> )	n	k (Pa s <sup>n</sup> )
H3	0.67 <sup>a</sup> ± 0.01	1.07 <sup>a</sup> ± 0.14	0.86 <sup>a</sup> ± 0.02	0.30 <sup>a</sup> ± 0.08
AR	0.63 <sup>a</sup> ± 0.02	1.20 <sup>a</sup> ± 0.23	0.62 <sup>b</sup> ± 0.01	1.02 <sup>a</sup> ± 0.18
LC cp	0.64 <sup>a</sup> ± 0.04	0.82 <sup>a</sup> ± 0.22	0.29 <sup>c</sup> ± 0.01	6.10 <sup>b</sup> ± 0.83
LC sp	0.51 ± 0.21	1.39 ± 1.30	0.40 ± 0.14	3.65 ± 2.62

*Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$*

Nota: para el análisis estadístico no se consideró la crema líquida LC sin precizamiento (sp) debido a que se realizó bajo condiciones diferentes para todas las demás.

La crema líquida AR presenta un comportamiento similar con respecto a los aglomerados que se forman internamente, pero con la diferencia de que éstos fácilmente se vuelven a aglomerar, por lo que las curvas de los segmentos 2 y 3 son ambas adelgazantes a la cizalla con valores de n muy cercanos, aunque la viscosidad aumenta durante el segmento 3 (que para este caso fue el de ascenso), lo cual indica que esta crema se vuelve más espesa con respecto al tiempo de cizalla; el que los parámetros reológicos de ambas curvas sean parecidos y que su viscosidad aumente un poco da la idea de que AR es mucho más estable que las otras cremas.

Con la crema LC ocurre lo contrario, ya que en un principio sus glóbulos de grasa se encuentran separados unos de otros o en aglomerados muy pequeños pero el cizallamiento provoca que se formen grandes aglomerados que oponen más resistencia al flujo pero que al mismo tiempo son fáciles de separar, ya que la n de descenso es menor que la de ascenso



(Cuadro 3.2), lo cual hace notar que la crema es más adelgazante a la cizalla que en un principio. La formación de estos conglomerados pudiera explicarse mediante el perfil de sólidos grasos presentes. LC contiene aceite de coco, el cual se encuentra prácticamente sólido (90%) a 10°C, como se muestra en la Figura 1.7, temperatura a la que se llevó a cabo la prueba, los cristales sólidos de este aceite pudieron incrustarse en los glóbulos de otras fuentes grasas propiciando coalescencia parcial de una fracción de la grasa sólida; o pudiera ser que al estar presente grasa butírica en concentración considerable y tener altas velocidades de cizalla se esté presentando una inversión de fases en algunas secciones del fluido (Figura 3.2 y Cuadro 3.2).

Raymundo *et al.*, (2001) encontraron que en emulsiones aceite en agua que contienen tanto proteínas como emulsificantes de bajo peso molecular, como es el caso de las cremas líquidas para batir, las curvas de flujo en estado estacionario que obtuvieron muestran en todos los casos un descenso de viscosidad al aumentar la velocidad de cizalla y lo mismo se puede notar en las curvas de todas las cremas analizadas (Figura 3.4).

Estadísticamente no hubo diferencia significativa en el índice de comportamiento al flujo ni en el índice de consistencia en las curvas de ascenso (Cuadro 3.2). Aunque las cremas para batir son consideradas como emulsiones concentradas por la fracción volumen de lípidos que contienen (mayor al 30%), tienen valores del índice de consistencia de ascenso bajos, lo cual hace notar que los glóbulos lipídicos son deformables y por ello pueden modificar su geometría durante el flujo con el fin de acomodarse con los glóbulos adyacentes y facilitar el movimiento. Esta capacidad de deformación es mayor cuando se tienen glóbulos de tamaño mayor a las partículas coloidales, las cuales tienen un diámetro menor o igual a 1  $\mu\text{m}$  (Dickinson, 1998), y en el caso de los glóbulos lipídicos de estas cremas líquidas son tres veces mayores que las partículas coloidales.

Los valores de los parámetros reológicos de descenso muestran que cada crema se comportó de manera diferente; los que presentaron mayor cambio con respecto a los de ascenso fueron los de la crema LC, mostrando un considerable aumento en la  $k$  y disminución de  $n$ .

### 3.1.3 Prueba de textura

Es conocido que la prueba de extrusión negativa es útil para analizar la estructura de un alimento y su comportamiento para fluir por el espacio anular al aplicarse una fuerza perpendicular al área.

La Figura 3.5 muestra las curvas promedio obtenidas para las cremas líquidas y se puede observar que cada crema líquida se comporta de manera diferente en esta prueba. Se ve claramente que los valores positivos de fuerza de extrusión van aumentando progresivamente en el caso de la crema H3, éste es un patrón de comportamiento que según Bourne (1985), indica que el alimento es poco compresible y que predominaron durante la prueba las fuerzas adhesivas, de extrusión y de cizalla. El área negativa en todas las cremas representa la retirada del dispositivo, por lo tanto ya no corresponde al proceso de extrusión y por ello no se tomará en cuenta para el análisis.

Las cremas AR y LC tienen un comportamiento parecido, aunque AR presenta valores mayores en toda la curva positiva (Figura 3.5). Estas cremas muestran en un principio una pequeña disminución de la fuerza debido a que la crema presenta un poco de resistencia a la fuerza de cizalla y es probable que al mismo tiempo comience a adherirse al dispositivo de prueba, pero después la fuerza permanece casi constante, lo cual indica que la resistencia a la fuerza de cizalla sobre el alimento se está dando en capas sucesivas o que una combinación de fuerzas de cizalla, extrusión y adhesión están actuando simultáneamente.

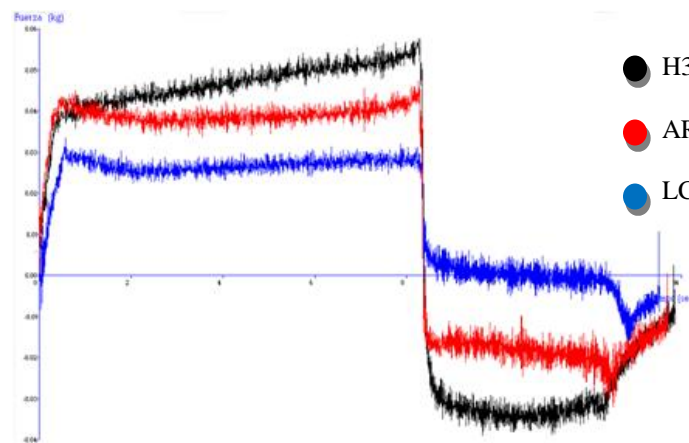


Figura 3.5. Curvas promedio de la prueba de extrusión negativa. Efecto del tipo de crema líquida para batir.

Los datos calculados en la prueba de extrusión negativa corroboran que la crema H3 es la que presenta los valores mayores de trabajo de extrusión, fuerza media y máxima de extrusión y LC es la que tiene los valores más pequeños (Cuadro 3.3). Esto indica que la estructura interna de H3 es la más compleja de las tres debido a las interacciones entre los estabilizantes y el tipo de grasa que pudiera contener, por lo que opone mayor resistencia para fluir por el espacio anular. Al realizar un análisis de varianza simple, se pudo observar que los parámetros de trabajo de extrusión, fuerza media y máxima de extrusión son estadísticamente diferentes para cada tipo de crema analizada y en la resistencia a la extrusión no existe diferencia significativa entre H3 y LC, mientras que con el valor de AR sí la hay.

Cuadro 3.3. *Caracterización de los diferentes tipos de crema líquida para batir Dulcima® mediante las pruebas de extrusión negativa.*

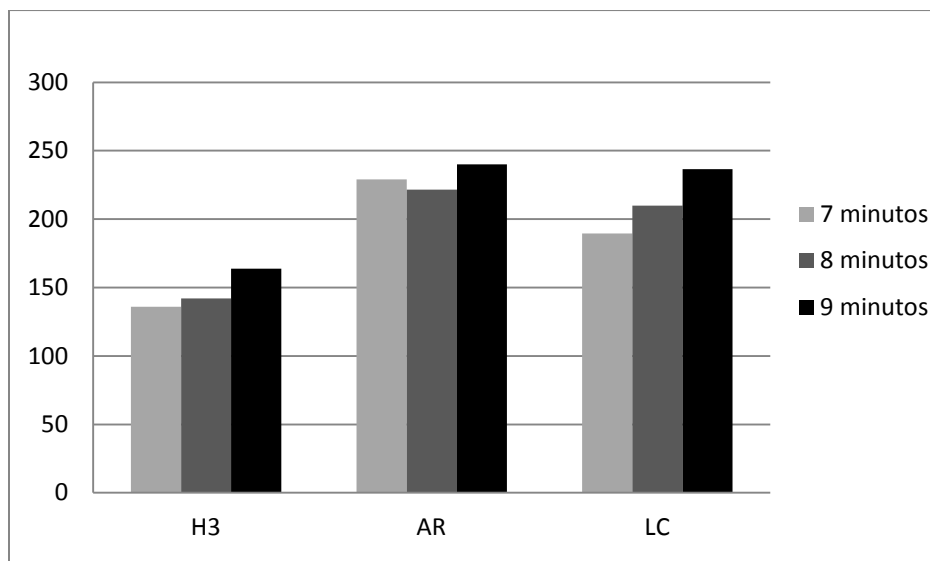
<b>Tipo de crema</b>	<b>Resistencia inicial a la extrusión (N/s)</b>	<b>Trabajo de extrusión (Ns)</b>	<b>Fuerza media (N)</b>	<b>Fuerza máxima (N)</b>
H3	0.80 <sup>a</sup> ± 0.01	3.63 <sup>a</sup> ± 0.01	0.471 <sup>a</sup> ± 0.004	0.549 <sup>a</sup> ± 0.005
AR	1.22 <sup>b</sup> ± 0.03	3.06 <sup>b</sup> ± 0.01	0.392 <sup>b</sup> ± 0.000	0.432 <sup>b</sup> ± 0.005
LC	0.57 <sup>a</sup> ± 0.008	1.96 <sup>c</sup> ± 0.01	0.255 <sup>c</sup> ± 0.004	0.294 <sup>c</sup> ± 0.000

*Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$*

## 3.2 Crema batida

### 3.2.1 Rendimiento

A las cremas batidas se les midió el rendimiento después de batir por un determinado tiempo. El rendimiento es un indicador que da información del aire contenido en la crema batida (Jakubczyk & Niranjana, 2006). Los valores obtenidos corroboran que son cremas batidas de calidad, ya que según Graf y Müller (1965), una buena crema batida debe ser una espuma rígida con un rendimiento entre 100 y 120%.



*Figura 3.6.* Rendimiento de las cremas batidas Dulcima® H3, AR y LC. Efecto del tiempo de batido.

La Figura 3.6 muestra que para todas las cremas batidas el rendimiento es mayor a 120%, esto debido a la leche descremada (H3 y LC) o el caseinato de sodio (AR) que aportan las proteínas espumantes. Además, todas las burbujas de aire son encapsuladas por los glóbulos de grasa parcialmente coalescidos y son distribuidas equitativamente por la interfase aire/fase acuosa. En general, para todos los tiempos de batido, la crema AR obtuvo el rendimiento mayor. Una emulsión con goma xantana, como la crema líquida AR, es capaz de incorporar una mayor cantidad de aire durante el batido. La característica de espesamiento que proporciona la xantana hace que el aire se incorpore en forma de burbujas y dificulta su movimiento, reforzando así la estabilidad del aire recién incorporado (Zhao *et al.*, 2009).

Además al aumentar el tiempo de batido existe una mayor posibilidad de que más aire se incorpore en el sistema, resultando en un mayor rendimiento, esto se observa fácilmente en el caso de las cremas batidas H3 y LC. La crema batida AR tiene valores de rendimiento muy parecidos para los tres tiempos de batido, probablemente porque la mayoría del aire es incorporado durante los primeros minutos de batido.

### ***3.2.2 Pruebas de textura***

Para analizar el efecto del tipo de crema y el tiempo de batido sobre las diferentes propiedades texturales de las cremas batidas obtenidas se realizó un análisis estadístico de tipo factorial, cuyos resultados se muestran en las Figuras 3.7 a 3.12 y en los Cuadros 3.4 a 3.6, mediante el cual se obtuvieron los promedios de las propiedades texturales para cada tipo de crema a los tres tiempos de batido (7, 8 y 9 minutos) y los promedios para cada tiempo de batido con las tres cremas (H3, AR y LC), esto fue con la finalidad de determinar la manera en cómo influyen tanto el tipo de crema como el tiempo de batido sobre las propiedades de textura.

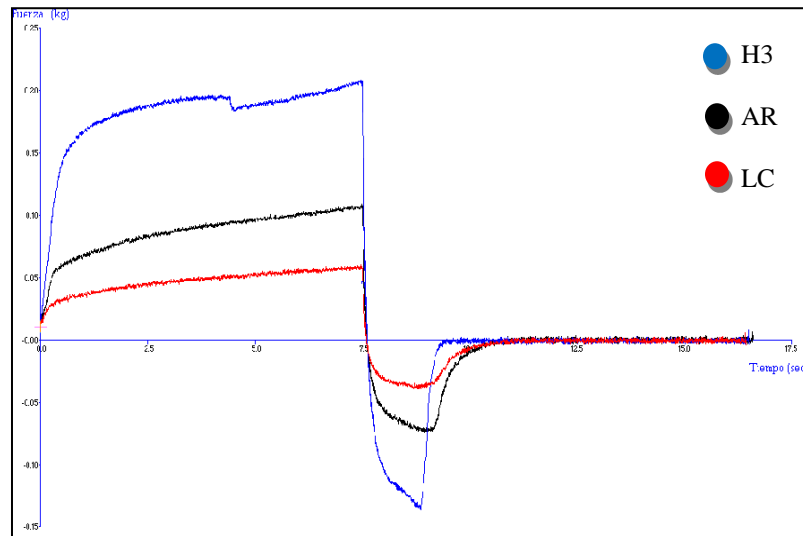
#### ***3.2.2.1 Efecto del tiempo de batido y tipo de crema sobre los parámetros texturales***

Una vez elaboradas las cremas batidas de los distintos tipos de cremas líquidas para batir (H3, AR y LC) a los tres diferentes tiempos de batido (siete, ocho y nueve minutos) se les realizaron a cada una de ellas las pruebas de textura (adhesividad por penetración, adhesividad por contacto y extrusión positiva) con la finalidad de obtener los parámetros texturales más representativos de cada tipo de prueba y observar el efecto de cada variable sobre los mismos.

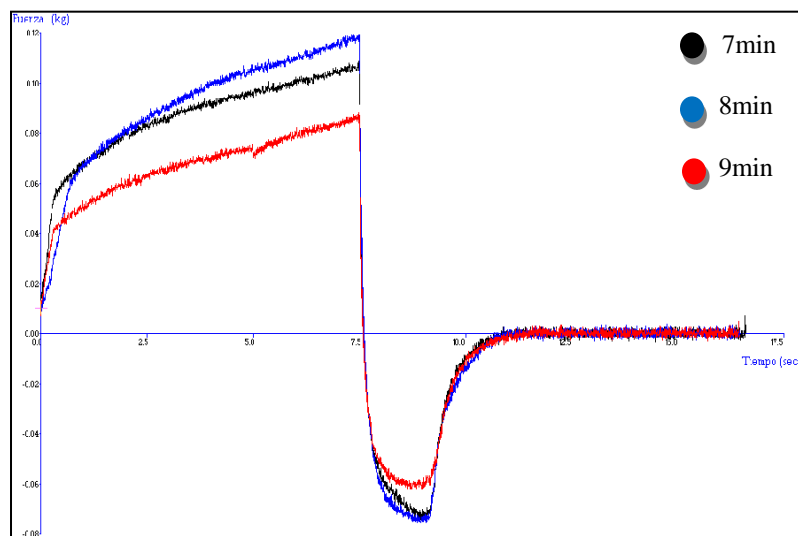
##### ***3.2.2.1.1 Prueba de adhesividad por penetración***

Se puede observar en la gráfica de adhesividad por penetración el efecto del tipo de crema para batir y del tiempo de batido en las Figuras 3.7 y 3.8, respectivamente. La Figura 3.7 muestra las curvas promedio para cada tipo de crema, considerando todos los tiempos de batido, y se puede notar que la crema H3 presenta valores mucho mayores tanto en la penetración (área positiva) como en la retirada (área negativa) del dispositivo y se puede ver que la penetración la realiza en dos etapas ya que la fuerza registrada va subiendo progresivamente después decae considerablemente su valor y a partir de ahí vuelve a incrementarse la fuerza. Las curvas de AR y LC son similares, siendo LC la que presenta los menores valores durante toda la prueba.

La Figura 3.8 muestra las curvas promedio para cada tiempo de batido considerando todos los tipos de crema, allí se muestra que la influencia del tiempo de batido es menor que la del tipo de crema. En un inicio las curvas de siete y ocho minutos se sobrepone pero al final de la etapa de penetración la curva de 8 minutos alcanza valores de fuerza mayores, además se puede ver que las propiedades adhesivas son muy similares en estos dos tiempos de batido. La curva con nueve minutos de batido resultó tener los valores menores.



*Figura 3.7.* Curvas promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tipo de crema.



*Figura 3.8.* Curvas promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido.

Cuadro 3.4. *Parámetros texturales promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tipo de crema y el tiempo de batido.*

Factor de variación		Fuerza adhesiva (N)	Adhesividad (N s)	Relación Cohesión/Adhesión	Resistencia adhesiva (N/s)	Untabilidad (mm/N s)	Dureza (N)	Trabajo de penetración (N s)
Tipo de crema	H3	1.33 <sup>a</sup>	1.60 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>	6.88 <sup>a</sup>	7.20 <sup>a</sup>	2.09 <sup>a</sup>	14.00 <sup>a</sup>
	AR	0.73 <sup>b</sup>	1.23 <sup>b</sup>	0.83 <sup>b</sup>	3.54 <sup>b</sup>	14.10 <sup>b</sup>	1.08 <sup>b</sup>	6.40 <sup>b</sup>
	LC	0.46 <sup>c</sup>	0.79 <sup>c</sup>	0.63 <sup>c</sup>	2.64 <sup>c</sup>	23.44 <sup>c</sup>	0.68 <sup>c</sup>	3.90 <sup>c</sup>
Tiempo de batido	7 min.	0.83 <sup>a</sup>	1.11 <sup>a</sup>	0.54 <sup>a</sup>	4.48 <sup>a</sup>	15.75 <sup>a</sup>	1.32 <sup>a</sup>	8.43 <sup>a</sup>
	8 min.	0.82 <sup>a</sup>	1.23 <sup>b</sup>	0.58 <sup>a</sup>	4.21 <sup>a</sup>	16.00 <sup>a</sup>	1.23 <sup>b</sup>	7.81 <sup>a</sup>
	9 min.	0.87 <sup>b</sup>	1.28 <sup>b</sup>	0.62 <sup>a</sup>	4.21 <sup>a</sup>	13.00 <sup>b</sup>	1.30 <sup>a</sup>	8.07 <sup>b</sup>

*Para cada factor de variación, los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$*

En la prueba de adhesividad por penetración, la crema H3 es mayor en todos los parámetros de textura, excepto en la untabilidad, que las otras dos cremas (Cuadro 3.4). Su estructura interna hace que rápidamente se adhiera al material con el que entra en contacto y por ello no se desliza fácilmente a través del otro material. La crema LC tuvo la mayor untabilidad y en el resto de los parámetros el valor más bajo. Como este parámetro se mide junto con las propiedades adhesivas de la muestra se puede ver que su valor es inverso a la adhesividad del material. La crema AR es la que posee el trabajo de adhesión y cohesión más parecidos porque su relación cohesión/adhesión es próxima a la unidad, mientras que el trabajo adhesivo predomina en H3.

Se puede ver que el tipo de crema analizada tiene gran influencia sobre los parámetros texturales de fuerza adhesiva, adhesividad y dureza, siendo la que tiene los valores más altos H3 y los más bajos la LC.

El que la crema H3 sea más adhesiva y dura que las otras la hace adecuada para utilizarse como relleno de panadería, porque si se usara una crema más untable y suave podría fácilmente escurrirse por la superficie porosa de los productos de panificación; esta crema también es recomendable para decoración ya que su firmeza hace que las figuras que se moldeen con la duya permanezcan por más tiempo.

En general, el tiempo de batido no tiene tanta influencia como el tipo de crema sobre las propiedades texturales. El tiempo adecuado para obtener una crema batida de buenas características adhesivas, no debe pasar de los ocho minutos, porque en algunos parámetros

batir por más tiempo resulta en una disminución de los mismos, aunque dependiendo de las características que se busquen en una crema batida habrá un tiempo que mejor las describa.

### 3.2.2.1.2 Prueba de adhesividad por contacto

Las curvas promedio de adhesividad por contacto de las cremas AR y LC son parecidos, mientras que la curva de H3 muestra los valores menores (Figura 3.9). La diferencia en el tiempo en el que empezó la prueba se debió a la manera en cómo se colocaba la muestra, ya que al ser en cantidad muy pequeña no se pesaba sino que se tomaba la crema batida con una cucharilla hasta que cubriera la mitad de ésta y se colocaba sobre el área de prueba, estas variaciones en la cantidad de muestra están reflejadas en el tiempo de inicio de la prueba.

El pico máximo de la curva adhesiva es menor a los siete minutos, aumenta ligeramente a los ocho y de manera más considerable a los nueve minutos (Figura 3.10), con lo cual se observa que el tiempo de batido sí tiene influencia sobre las propiedades de textura en la prueba de adhesividad por contacto.

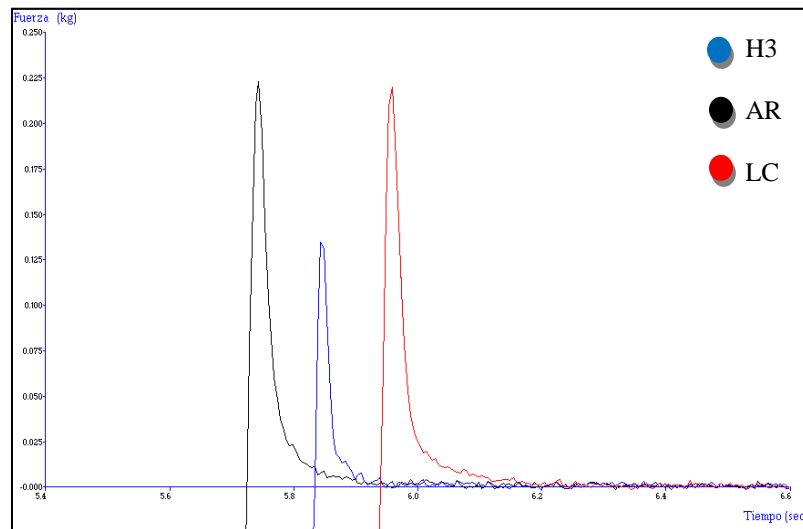


Figura 3.9. Curvas promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tipo de crema.



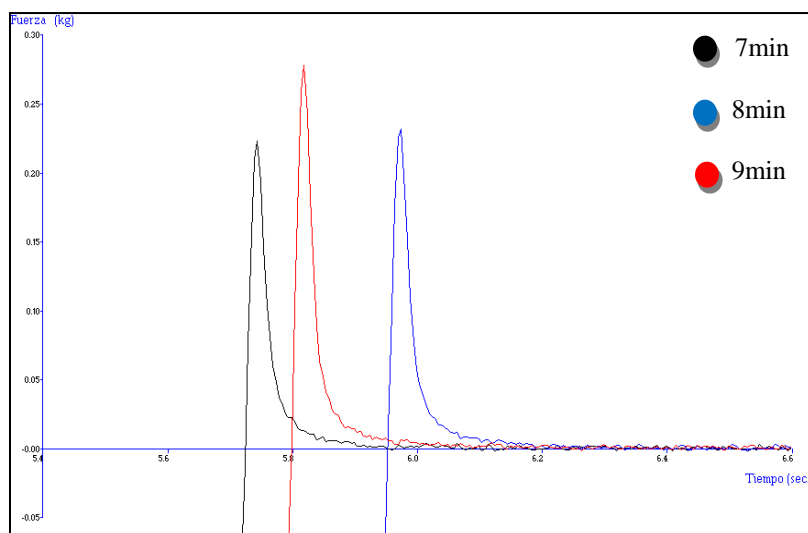


Figura 3.10. Curvas promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido.

Cuadro 3.5. Parámetros texturales promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tipo de crema y el tiempo de batido.

Factor de variación		Fuerza adhesiva (N)	Adhesividad (N s)	Relación Cohesión/ Adhesión	Resistencia adhesiva (N/s)	Untabilidad (mm/N s)
Tipo de crema	H3	1.47 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	2.91 <sup>a</sup>	166.8 <sup>a</sup>	49.3 <sup>a</sup>
	AR	2.36 <sup>b</sup>	0.11 <sup>b</sup>	1.95 <sup>b</sup>	177.8 <sup>b</sup>	33.7 <sup>b</sup>
	LC	2.12 <sup>c</sup>	0.09 <sup>c</sup>	2.38 <sup>c</sup>	174.4 <sup>b</sup>	32.5 <sup>c</sup>
Tiempo de batido	7 minutos	1.83 <sup>a</sup>	0.08 <sup>a</sup>	2.47 <sup>a</sup>	164.8 <sup>a</sup>	39.3 <sup>a</sup>
	8 minutos	2.07 <sup>b</sup>	0.09 <sup>b</sup>	2.17 <sup>ab</sup>	175.8 <sup>b</sup>	36.9 <sup>a</sup>
	9 minutos	2.05 <sup>b</sup>	0.09 <sup>c</sup>	2.60 <sup>a</sup>	178.3 <sup>b</sup>	39.3 <sup>a</sup>

Para cada factor de variación, los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$

En la prueba de adhesividad por contacto AR tiene los valores más altos para fuerza adhesiva, adhesividad y resistencia adhesiva y aunque en todos los parámetros texturales tiene valores muy cercanos a los de LC son estadísticamente diferentes, a excepción de la resistencia adhesiva. Los valores de fuerza adhesiva, adhesividad y resistencia adhesiva para la crema H3 son los menores, contrariamente a lo que muestra la prueba de adhesividad por penetración (Cuadros 3.4 y 3.5). Esto pudiera ser porque en la prueba por contacto la muestra también está próxima a la superficie de la base de acero inoxidable, el que se caracteriza porque los alimentos que contienen azúcares o lípidos se adhieren con

gran facilidad (Hoseney y Smewing, 1999). Como la muestra tiene un espesor muy pequeño existe una competencia para adherirse con ambos materiales y las características adhesivas de la crema batida disminuyen al ser evaluadas por un cilindro de acrílico. Como esto no ocurre en la prueba de adhesividad por penetración, ya que hay una gran cantidad de muestra que recubre al dispositivo, se pueden medir de manera más clara las propiedades adhesivas mediante la prueba por penetración.

Al igual que en la prueba adhesiva por penetración, la influencia del tiempo de batido sobre las propiedades evaluada tiene una menor influencia que el tipo de crema, en cada parámetro, el tiempo tiene un efecto distinto (Cuadro 3.5), siendo mayor el efecto del tipo de crema.

Algo importante a destacar es que en general en la prueba de adhesividad por penetración la relación cohesión/adhesión presenta valores menores a 1, lo cual indica que predomina el trabajo adhesivo sobre el cohesivo, pero en la prueba de adhesividad por contacto esta relación tiene valores mayores a 1, indicando que el trabajo cohesivo es mayor que el adhesivo. El que un parámetro de las propiedades adhesivas se manifieste más que otro en una prueba depende de las características de la misma. En la prueba de adhesividad por contacto la cantidad de muestra es poca y por ello no se coloca sobre un recipiente, sino sobre la base del instrumento, además, durante la prueba se fuerza el contacto entre la muestra y el dispositivo de prueba y al despegarse la subida es más recta y abrupta por lo que se manifiesta más el trabajo cohesivo de la muestra.

Como ya se había mencionado, la prueba de adhesividad por penetración utiliza más muestra que se coloca sobre un recipiente de vidrio de forma y dimensiones conocidas y constantes, por lo que el efecto de la base (analizado en párrafos anteriores) es mínimo, por ello cuando el dispositivo se retira de la muestra, se empiezan a manifestar las propiedades adhesivas y la fuerza va aumentando gradualmente hasta que se separa de la muestra.

De acuerdo con lo referido, si se quiere analizar la manifestación del trabajo adhesivo conviene evaluarlo bajo las condiciones de la prueba por penetración pero si se quiere observar la manifestación del trabajo cohesivo, es mejor realizar la prueba por contacto, sin

olvidar que en ambas pruebas son distintas las condiciones de prueba y esto también afecta las propiedades medidas.

### 3.2.2.1.3 Prueba de extrusión positiva

La Figura 3.11 muestra que la crema batida H3 tiene los valores más altos, mientras que la crema LC muestra los más bajos. La fuerza de extrusión se mantiene constante por casi todo el intervalo en la crema LC durante el proceso de extrusión, mientras que existen constantes picos negativos en las otras dos cremas, eso es normal debido a que se trabaja con un alimento semisólido y no siempre se puede llenar por completo un recipiente sin dejar huecos. Como la crema batida se debe manipular lo menos posible antes de la prueba es común que queden espacios llenos de aire, éstos son los que provocan la disminución de la fuerza de extrusión durante la prueba. LC mantuvo valores más constantes debido a que fue la crema menos dura, o más fluida, registrado en la prueba de adhesividad por penetración (Cuadro 3.4).

La Figura 3.12 muestra que no existe gran diferencia entre las curvas promedio obtenidas con distintos tiempos de batido, solamente que conforme aumenta al tiempo de batido el proceso de extrusión tarda más en comenzar, ya que la pendiente inicial de la curva se va recorriendo hacia la derecha.

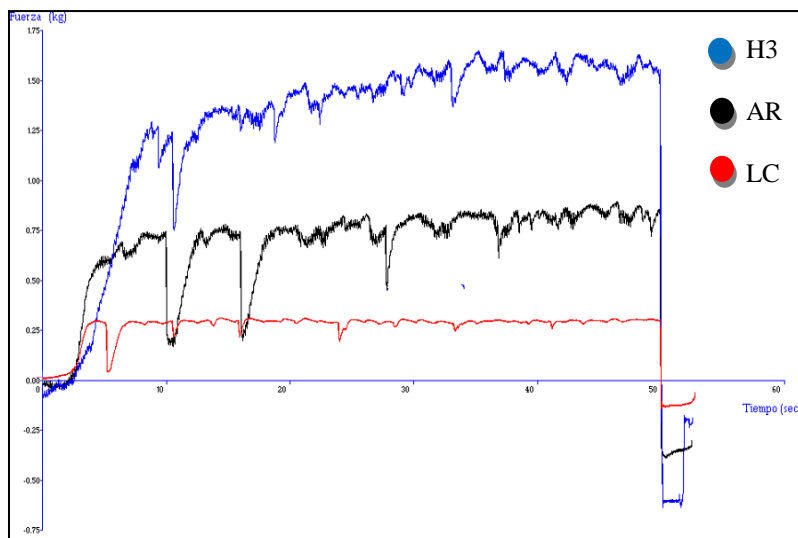


Figura 3.11. Curvas promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tipo de crema.

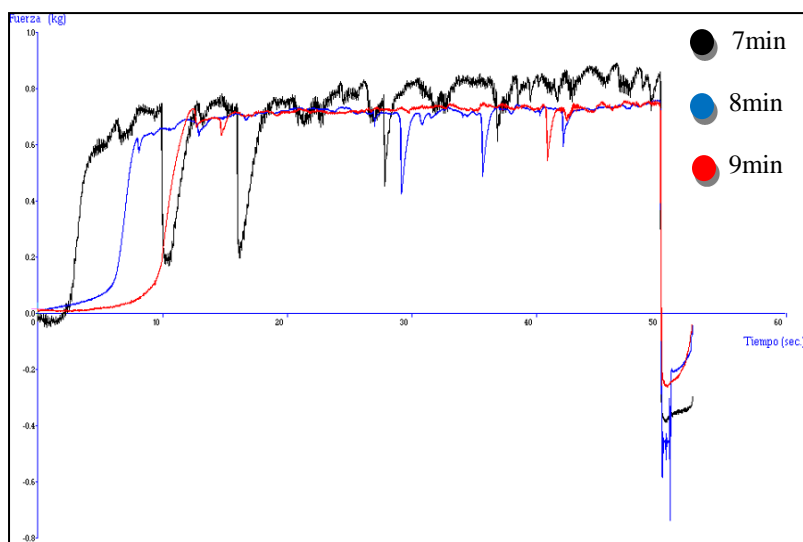


Figura 3.12. Curvas promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido.

Cuadro 3.6. Parámetros texturales promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tipo de crema y el tiempo de batido.

Factor de variación		Trabajo extrusión (N s)	Resistencia extrusión (N/s)	Fuerza media (N)
Tipo de crema	H3	502.6644 <sup>a</sup>	3.7602 <sup>a</sup>	13.0551 <sup>a</sup>
	AR	298.2240 <sup>b</sup>	3.8504 <sup>a</sup>	7.2104 <sup>b</sup>
	LC	124.0965 <sup>c</sup>	3.0244 <sup>b</sup>	2.7880 <sup>c</sup>
Tiempo de batido	7 minutos	280.8603 <sup>a</sup>	3.6709 <sup>a</sup>	7.1613 <sup>a</sup>
	8 minutos	301.5594 <sup>ab</sup>	3.6297 <sup>a</sup>	7.3653 <sup>a</sup>
	9 minutos	342.6633 <sup>b</sup>	3.3354 <sup>a</sup>	8.5269 <sup>b</sup>

Para cada factor de variación, los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$

La influencia del tipo de crema en la prueba de extrusión positiva es significativa. Los parámetros texturales analizados mediante la prueba de extrusión positiva fueron mayores para la crema H3, mientras que LC presentó los más bajos (Cuadro 3.6). Por su parte, el tiempo de batido no mostró gran influencia sobre estos parámetros, pero lo que logra un mayor tiempo de batido es disminuir la cantidad de variaciones en la fuerza que presenta la crema batida al momento de efectuarse la prueba, por ello es recomendable batir por más de

siete minutos las cremas que se vayan a utilizar para formar figuras mediante una duya, ya que así se facilita este proceso.

La crema AR tiene características de extrusión aceptables, es más adhesiva que la LC y al ser de alto rendimiento su densidad disminuye; estas características la hacen apta para aplicarse como decorativo sobre bebidas líquidas como cafés y malteadas.

La crema LC es la que es extruida con mayor facilidad, sin embargo durante la prueba se pudo notar que pierde la forma con la que sale de la boca del dispositivo con mucha facilidad, por lo que no es adecuada para formar figuras decorativas, pero su mayor untabilidad (Cuadro 3.4) hace que sea adecuada como cubierta de pasteles u otro tipo de productos de panificación.

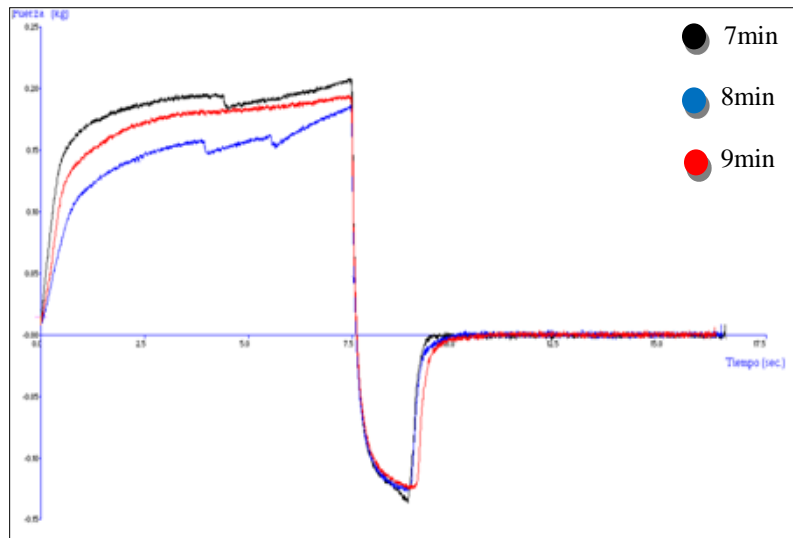
Hasta el momento se analizó el efecto del tipo de crema y del tiempo de batido sobre las distintas propiedades texturales de las cremas batidas y se observó que la formulación influyó más en éstas propiedades que el tiempo de batido. Sin embargo, el análisis estadístico muestra que la interacción entre el tipo de crema y el tiempo de batido tiene también una influencia significativa sobre los parámetros de textura, por ello se analizará por separado el efecto del tiempo de batido en cada crema utilizada.

### ***3.2.2.2 Efecto del tiempo de batido sobre los parámetros texturales de cada tipo de crema batida***

#### ***3.2.2.2.1. Crema batida Dulcima® H3***

##### **Prueba de adhesividad por penetración**

En la Figura 3.13 y el Cuadro 3.7 se pueden ver las características texturales de la crema batida H3 bajo la prueba de adhesividad por penetración. En las curvas obtenidas (Figura 3.13) se observa que en las cremas batidas a los siete y ocho minutos el proceso de penetración del dispositivo está fraccionado, lo cual puede ser por haber huecos debido a la dificultad de llevar el recipiente con la muestra por su alta consistencia. La curva a los siete minutos va por arriba de las demás. Las propiedades adhesivas se manifestaron de manera muy similar para los tres tiempos de batido.



*Figura 3.13.* Curvas promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3

La resistencia adhesiva y la adhesividad, se refiere a la suma del trabajo adhesivo y el trabajo cohesivo y está representada gráficamente por el área bajo la curva durante el proceso de retirada del dispositivo, resultaron estadísticamente iguales entre los distintos tiempos de batido (Cuadro 3.7) y para los parámetros de dureza y trabajo de penetración no existe diferencia significativa entre ocho y nueve minutos de batido; la crema batida por siete minutos resultó más dura y con un mayor trabajo de penetración, siendo la que obtuvo los parámetros más altos de todas las cremas analizadas. Una crema batida demasiado consistente no es fácil de manejar, por ello es recomendable que la crema H3 se bata entre ocho y nueve minutos para utilizarse en las aplicaciones antes escritas (como decorativo y relleno de panadería).

El tiempo de batido afecta de diferente forma a cada parámetro del Cuadro 3.7, pero en todos los casos se observa que al menos los valores de dos tiempos de batido son estadísticamente iguales, por lo que el efecto del tiempo sobre las propiedades texturales es mínimo.

Cuadro 3.7. *Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3.*

Tiempo de batido	Fuerza adhesiva (N)	Adhesividad (N s)	Relación Cohesión/Adhesión	Resistencia adhesiva (N/s)	Untabilidad (mm/N s)	Dureza (N)	Trabajo de penetración (N s)
7 minutos	1.37 <sup>a</sup> ± 0.00	1.47 <sup>a</sup> ± 0.10	0.23 <sup>a</sup> ± 0.09	7.31 <sup>a</sup> ± 0.3	6.35 <sup>a</sup> ± 0.4	2.28 <sup>a</sup> ± 0.05	15.48 <sup>a</sup> ± 0.4
8 minutos	1.28 <sup>b</sup> ± 0.00	1.67 <sup>a</sup> ± 0.08	0.36 <sup>b</sup> ± 0.04	7.01 <sup>a</sup> ± 0.3	7.12 <sup>ab</sup> ± 0.6	1.94 <sup>b</sup> ± 0.10	12.85 <sup>b</sup> ± 1.0
9 minutos	1.35 <sup>a</sup> ± 0.05	1.67 <sup>a</sup> ± 0.08	0.24 <sup>ab</sup> ± 0.03	6.33 <sup>a</sup> ± 0.7	8.12 <sup>b</sup> ± 0.3	2.06 <sup>b</sup> ± 0.08	13.69 <sup>b</sup> ± 0.4

*Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$*

### α Prueba de adhesividad por contacto

La Figura 3.14 muestra las curvas de adhesividad por contacto para la crema H3 y se puede observar que existe una gran diferencia entre la curva obtenida a los nueve minutos con las de siete y ocho minutos, que a su vez son muy similares entre sí. La fuerza máxima a los nueve minutos es muy superior.

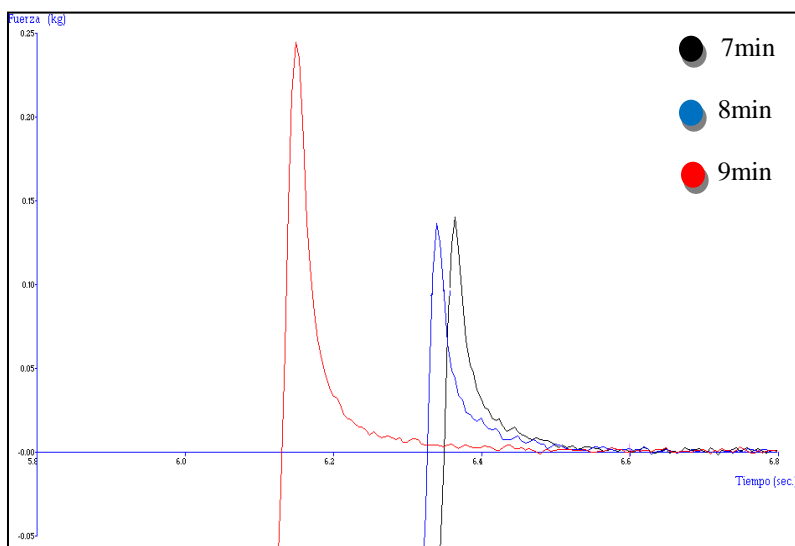


Figura 3.14. Curvas promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3.

Los parámetros de fuerza adhesiva, resistencia adhesiva y untabilidad resultaron mayores para la crema batida por nueve minutos (Cuadro 3.8). Para los distintos tiempos de batido no existe diferencia significativa en la adhesividad ni en la relación cohesión/adhesión pero sí en la fuerza adhesiva. Las cremas batidas por siete y ocho minutos resultaron estadísticamente iguales en todos los parámetros texturales, a excepción de la fuerza adhesiva. Aunque en la Figura 3.8 la curva a los nueve minutos es más alta, puede ser que las otras dos curvas sean más anchas, por lo que no se refleja un gran aumento en los valores de los parámetros texturales analizados.

Cuadro 3.8. *Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3*

<b>Tiempo de batido</b>	<b>Fuerza adhesiva (N)</b>	<b>Adhesividad (N s)</b>	<b>Relación Cohesión/Adhesión</b>	<b>Resistencia adhesiva (N/s)</b>	<b>Untabilidad (mm/N s)</b>
7 minutos	1.47 <sup>a</sup> ± 0.00	0.058 <sup>a</sup> ± 0.004	3.04 <sup>a</sup> ± 0.4	161.6 <sup>a</sup> ± 3.6	45.8 <sup>a</sup> ± 5.3
8 minutos	1.40 <sup>b</sup> ± 0.01	0.062 <sup>a</sup> ± 0.003	2.90 <sup>a</sup> ± 0.3	153.6 <sup>a</sup> ± 6.6	46.7 <sup>a</sup> ± 2.0
9 minutos	1.55 <sup>c</sup> ± 0.05	0.059 <sup>a</sup> ± 0.001	2.78 <sup>a</sup> ± 0.2	185.0 <sup>b</sup> ± 5.7	55.4 <sup>b</sup> ± 2.9

*Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$*

### α Prueba de extrusión positiva

En la Figura 3.15 se puede observar que el tiempo de batido tiene influencia sobre la fuerza de extrusión, las cremas batidas por siete y ocho minutos tienen curvas de extrusión muy similares, siendo un poco mayor la de siete minutos, y aunque la curva a los nueve minutos comienza registrando valores de fuerza muy parecidos a las dos anteriores, conforme transcurre el tiempo es necesario aplicar una mayor fuerza para que el proceso de extrusión se lleve a cabo. Esta característica de la crema batida por nueve minutos sería aceptable para utilizarse realizando figuras decorativas con duya, ya que al principio la crema fluye fácilmente por lo que se puede controlar bien su salida por la boquilla de la duya con poca fuerza y luego al oponer una mayor resistencia permite tener más presión al formar las figuras deseadas.



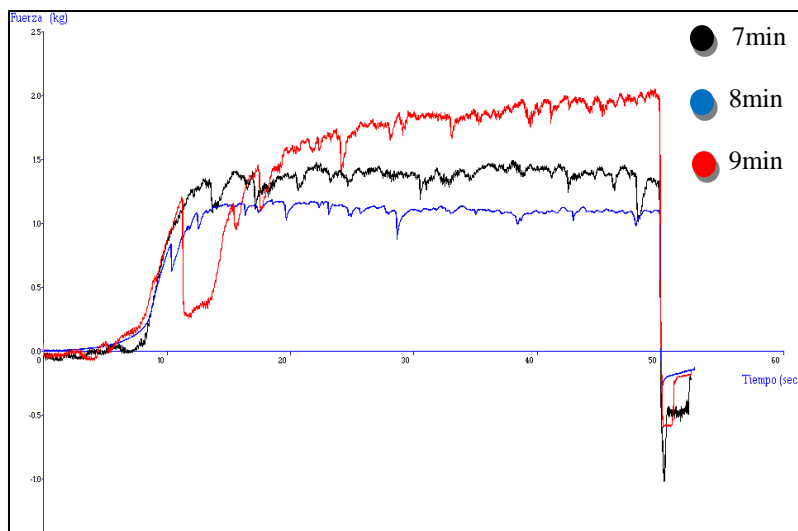


Figura 3.15. Curvas promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3.

El Cuadro 3.9 muestra cuantitativamente lo observado en la Figura 3.10, el trabajo de extrusión es estadísticamente igual a los siete y ocho minutos de batido, pero difiere a los nueve, donde se presenta el mayor valor. En la resistencia a la extrusión no hay diferencia significativa para ningún tiempo; sin embargo, la fuerza media que presentó cada crema fue diferente, con el valor más alto a los nueve minutos.

Cuadro 3.9. Parámetros texturales de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® H3.

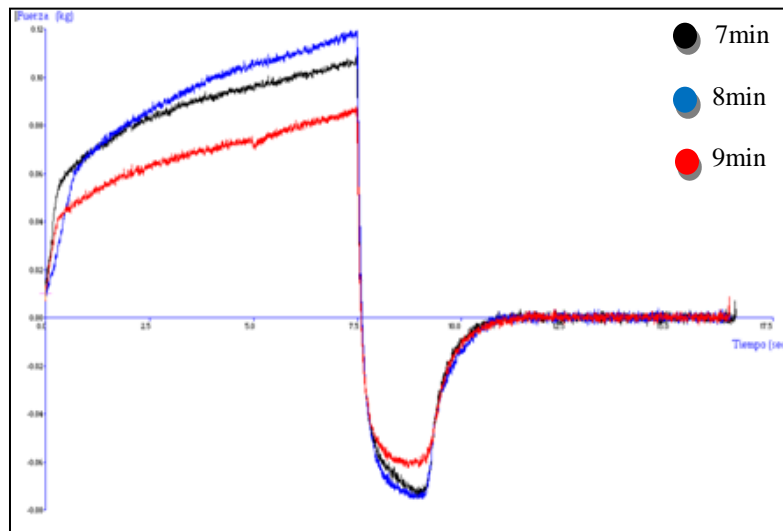
Tiempo de batido	Trabajo extrusión (N s)	Resistencia extrusión (N/s)	Fuerza media (N)
7 minutos	495.1 <sup>a</sup> ±66.5	3.65 <sup>a</sup> ±0.9	12.9737 <sup>a</sup> ±1.5
8 minutos	406.4 <sup>a</sup> ±44.7	4.24 <sup>a</sup> ±0.6	10.4967 <sup>b</sup> ±0.2
9 minutos	606.6 <sup>b</sup> ±56.7	3.38 <sup>a</sup> ±0.4	15.696 <sup>c</sup> ±0.4

Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$

### 3.2.2.2.2 Crema batida Dulcima® Alto Rendimiento (AR)

#### Prueba de adhesividad por penetración

La Figura 3.16 muestra el efecto del tiempo de batido sobre las características texturales de la crema batida de Alto Rendimiento. Durante el proceso de penetración del dispositivo de prueba las cremas batidas de siete y ocho minutos presentaron curvas muy similares en un principio, siendo la crema de ocho minutos la que termina con valores mayores. En esta ocasión la crema batida de nueve minutos obtuvo los valores menores, tanto en el proceso de penetración como en el de retirada del dispositivo.



*Figura 3.16.* Curvas promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR).

La crema batida por nueve minutos es la que presentó los valores texturales menores, aunque en la mayoría de los parámetros esta diferencia no fue estadísticamente significativa (Cuadro 3.10). Al batir por siete y ocho minutos se obtienen cremas batidas con una relación cohesión/adhesión similar y a los nueve minutos, esta relación es igual a la unidad, por lo que sus valores de adhesividad y cohesividad son los más parecidos entre sí.

Cuadro 3.10. *Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR).*

Tiempo de batido	Fuerza adhesiva (N)	Adhesividad (N s)	Relación Cohesión/Adhesión	Resistencia adhesiva (N/s)	Untabilidad (mm/N s)	Dureza (N)	Trabajo de penetración (N s)
7 minutos	0.71 <sup>a</sup> ± 0.05	1.20 <sup>a</sup> ± 0.04	0.69 <sup>a</sup> ± 0.20	3.63 <sup>a</sup> ± 0.10	13.9 <sup>a</sup> ± 0.8	1.08 <sup>a</sup> ± 0.0	6.45 <sup>a</sup> ± 0.2
8 minutos	0.78 <sup>b</sup> ± 0.00	1.37 <sup>b</sup> ± 0.00	0.75 <sup>a</sup> ± 0.06	3.58 <sup>a</sup> ± 0.05	12.9 <sup>a</sup> ± 0.3	1.18 <sup>b</sup> ± 0.0	7.23 <sup>b</sup> ± 0.3
9 minutos	0.69 <sup>a</sup> ± 0.00	1.10 <sup>a</sup> ± 0.10	1.05 <sup>b</sup> ± 0.07	3.41 <sup>a</sup> ± 0.09	15.5 <sup>b</sup> ± 0.2	0.99 <sup>c</sup> ± 0.0	5.52 <sup>c</sup> ± 0.05

*Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$*

La crema batida más unttable se obtuvo a los nueve minutos, teniendo además poca dureza, por lo cual podría utilizarse como cobertura de algún producto de panadería. De ahí que se desprenda que es muy importante cuidar el tiempo de batido de acuerdo a la aplicación que se requiera, ya que con tan sólo un minuto más o menos, se puede tener como resultado una crema batida con características indeseables para dicha aplicación.

### Prueba de adhesividad por contacto

Al aplicar la prueba de adhesividad por contacto en la crema AR no es notorio el efecto del tiempo de batido (Figura 3.17). La crema a los siete minutos es la que presenta el pico menor, pero es muy poca la diferencia.

El tiempo de batido no afectó la adhesividad pero en los parámetros de fuerza y resistencia adhesiva los valores mayores se presentaron con la crema batida por nueve minutos (Cuadro 3.11). La relación cohesión/adhesión a los siete y nueve minutos es muy parecida, pero a los ocho minutos tiene un valor más pequeño, lo cual indica que es una crema con mayor trabajo adhesivo que las demás. La untabilidad presenta valores menores conforme aumenta el tiempo de batido.

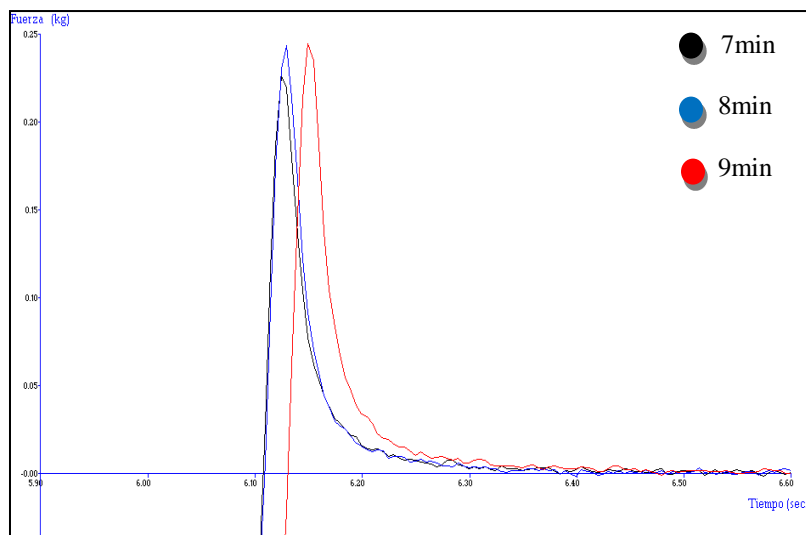


Figura 3.17. Curvas promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR).

Cuadro 3.11. Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR).

Tiempo de batido	Fuerza adhesiva (N)	Adhesividad (N s)	Relación Cohesión/ Adhesión	Resistencia adhesiva (N/s)	Untabilidad (mm/N s)
7 minutos	2.18 <sup>a</sup> ± 0.05	0.109 <sup>a</sup> ± 0.010	2.11 <sup>a</sup> ± 0.20	172.6 <sup>a</sup> ± 4.5	43.7 <sup>a</sup> ± 2.9
8 minutos	2.35 <sup>b</sup> ± 0.00	0.099 <sup>a</sup> ± 0.003	1.71 <sup>b</sup> ± 0.06	172.2 <sup>a</sup> ± 0.9	32.0 <sup>b</sup> ± 1.2
9 minutos	2.55 <sup>c</sup> ± 0.00	0.109 <sup>a</sup> ± 0.001	2.02 <sup>a</sup> ± 0.07	188.5 <sup>b</sup> ± 5.1	25.4 <sup>c</sup> ± 0.9

Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$

### Prueba de extrusión positiva

La última prueba de textura que se le realizó a la crema batida AR fue la de extrusión positiva (Figura 3.18). Según esta prueba, la crema más heterogénea fue la que se obtuvo a los siete minutos de batido, ya que es la que presenta un gráfico con mayores altibajos durante el proceso de extrusión, pero conforme aumenta al tiempo de batido las variaciones de la fuerza de extrusión son menores en número y magnitud y ésta tiende a mantenerse constante durante la mayor parte de la prueba.

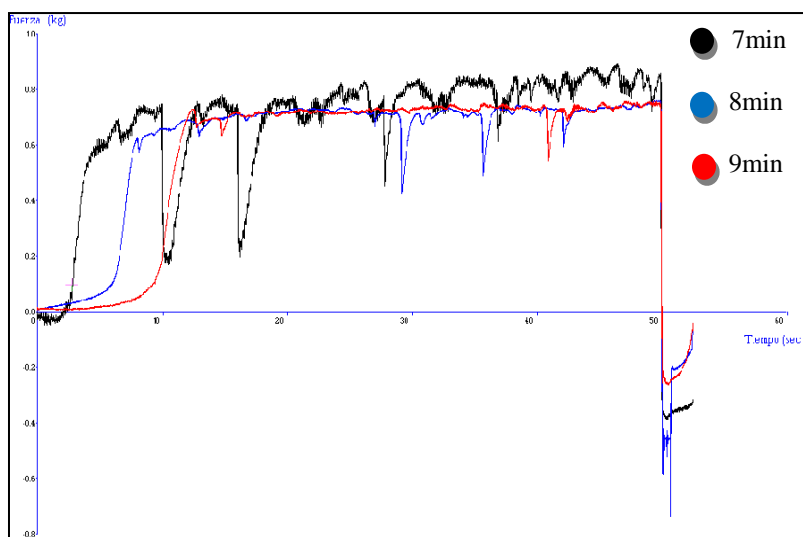


Figura 3.18. Curvas promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR).

Al realizar un análisis estadístico de los parámetros texturales obtenidos mediante las curvas de extrusión, se puede ver que la crema batida por ocho minutos presentó mayor trabajo y fuerza de extrusión que las otras dos (Cuadro 3.12), lo cual pudiera deberse a que comenzó el proceso de extrusión antes que la crema de nueve minutos; aunque la crema que comenzó primero el proceso de extrusión fue la de siete minutos, hay que tomar en cuenta que es la que presenta más altibajos durante el proceso de extrusión, los cuales hacen que disminuya la fuerza media registrada y por lo tanto el trabajo de extrusión. En lo que respecta a la resistencia a la extrusión no hubo diferencia estadística significativa entre los tres tiempos de batido.

Cuadro 3.12. Parámetros texturales de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® de Alto Rendimiento (AR).

Tiempo de batido	Trabajo extrusión (N s)	Resistencia extrusión (N/s)	Fuerza media (N)
7 minutos	235.1 <sup>a</sup> ± 26.1	4.51 <sup>a</sup> ± 0.3	5.984 <sup>a</sup> ± 0.2
8 minutos	395.1 <sup>b</sup> ± 71.9	3.41 <sup>a</sup> ± 0.2	9.319 <sup>b</sup> ± 1.6
9 minutos	264.6 <sup>a</sup> ± 13.8	3.63 <sup>a</sup> ± 0.9	6.327 <sup>a</sup> ± 0.5

Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$

### 3.2.2.2.3. Crema batida Dulcima® Extra ( Láctea, LC)

#### Prueba de adhesividad por penetración

La curva adhesiva de la crema batida LC es diferente al batirla por un tiempo de nueve minutos, porque aumenta de manera considerable, mientras que las curvas entre los tiempos de siete y ocho son similares entre sí y más bajas que con nueve minutos (Figura 3.19).

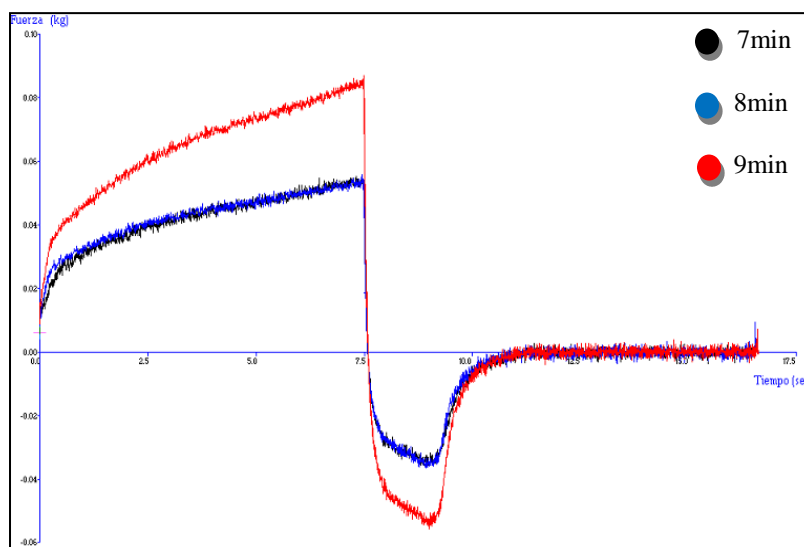


Figura 3.19. Curvas promedio de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC).

Los parámetros texturales para la crema batida por nueve minutos son estadísticamente mayores que los obtenidos a los siete y ocho minutos (Cuadro 3.13), a excepción de la relación cohesión/ adhesión, en donde es estadísticamente igual, y en la untabilidad, que es inversa a la adhesividad; aunque todas las cremas tienen valores altos de untabilidad, los mayores son a tiempos cortos de batido; sin embargo, estas cremas también presentan valores pequeños de adhesividad. Estos dos parámetros dejan ver que las cremas batidas a siete y ocho minutos son fáciles de aplicar sobre una superficie, pero al no tener buena adherencia no permanecen sobre ésta por mucho tiempo, por lo cual no se recomiendan como cobertura de panadería ni como decoración para bebidas, pero al batir por nueve

minutos la adhesividad mejora considerablemente, siendo ésta, la crema que se usaría como cubierta de diversos productos de panificación.

Cuadro 3.13. *Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por penetración. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC).*

Tiempo de batido	Fuerza adhesiva (N)	Adhesividad (N s)	Relación Cohesión/Adhesión	Resistencia adhesiva (N/s)	Untabilidad (mm/N s)	Dureza (N)	Trabajo de penetración (N s)
7 minutos	0.39 <sup>a</sup> ± 0.0	0.66 <sup>a</sup> ± 0.05	0.69 <sup>a</sup> ± 0.1	2.50 <sup>a</sup> ± 0.3	27.0 <sup>a</sup> ± 1.7	0.59 <sup>a</sup> ± 0.0	3.36 <sup>a</sup> ± 0.05
8 minutos	0.39 <sup>a</sup> ± 0.0	0.64 <sup>a</sup> ± 0.05	0.63 <sup>a</sup> ± 0.1	2.04 <sup>b</sup> ± 0.1	28.0 <sup>a</sup> ± 0.2	0.59 <sup>a</sup> ± 0.0	3.34 <sup>a</sup> ± 0.08
9 minutos	0.59 <sup>b</sup> ± 0.0	1.08 <sup>b</sup> ± 0.00	0.57 <sup>a</sup> ± 0.0	3.38 <sup>c</sup> ± 0.1	15.4 <sup>b</sup> ± 0.25	0.86 <sup>b</sup> ± 0.0	5.00 <sup>b</sup> ± 0.1

Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$

### ☞ Prueba de adhesividad por contacto

Las curvas texturales de la prueba de adhesividad por contacto para la crema batida LC se muestran en la Figura 3.20 en la cual se observa que el valor máximo de fuerza lo alcanzó la crema batida por ocho minutos y el pico menor está en la curva de siete minutos.

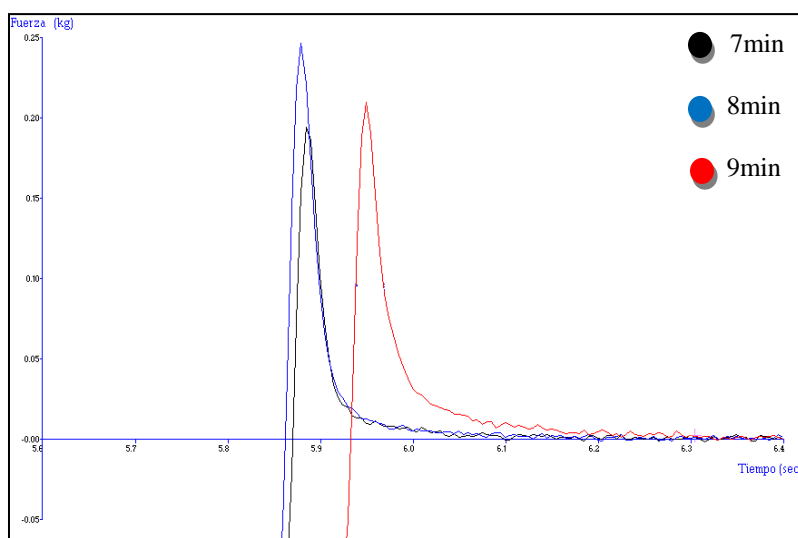


Figura 3.20. Curvas promedio de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC).

La resistencia adhesiva de las cremas batidas por siete y nueve minutos es muy similar (Cuadro 3.14), pero el tiempo de batido de ocho minutos hace que aumente dicha resistencia y esto también se ve reflejado en una mayor fuerza adhesiva. Sin embargo la adhesividad entre ocho y nueve minutos es estadísticamente igual, a los siete minutos se obtiene el valor menor de ésta. La crema con mayor trabajo cohesivo fue la de nueve minutos, ya que es la que presenta una relación cohesión adhesión estadísticamente mayor. Se puede ver que la untabilidad de las cremas batidas aumenta conforme lo hace el tiempo de batido.

Cuadro 3.14. *Parámetros texturales de la prueba de adhesividad por contacto. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC)*

<b>Tiempo de batido</b>	<b>Fuerza adhesiva (N)</b>	<b>Adhesividad (N s)</b>	<b>Relación Cohesión/ Adhesión</b>	<b>Resistencia adhesiva (N/s)</b>	<b>Untabilidad (mm/N s)</b>
7 minutos	1.84 <sup>a</sup> ± 0.05	0.078 <sup>a</sup> ± 0.005	2.25 <sup>a</sup> ± 0.03	160.2 <sup>a</sup> ± 4.9	28.3 <sup>a</sup> ± 0.2
8 minutos	2.45 <sup>b</sup> ± 0.00	0.099 <sup>b</sup> ± 0.001	1.91 <sup>a</sup> ± 0.05	201.5 <sup>b</sup> ± 3.5	32.0 <sup>b</sup> ± 0.5
9 minutos	2.06 <sup>c</sup> ± 0.00	0.101 <sup>b</sup> ± 0.001	3.00 <sup>b</sup> ± 0.06	161.6 <sup>a</sup> ± 4.8	37.1 <sup>c</sup> ± 1.2

*Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$*

### Prueba de extrusión positiva

Los parámetros texturales obtenidos en la prueba de extrusión positiva muestran la misma tendencia que los obtenidos en la de adhesividad por penetración. Una similitud grande en los tiempos de batido de siete y ocho minutos, siendo significativamente mayor la crema batida por nueve minutos; aunque puede notarse que, caso contrario a las otras cremas, cuando el tiempo de batido aumenta los altibajos en la fuerza registrada durante el proceso de extrusión son mayores. La crema LC se caracteriza por ser la crema con menor dureza (Figura 3.21), pero al batirla por más tiempo su dureza va aumentando, por lo que es más difícil colocarla en la celda de extrusión con la posibilidad de que quedaran huecos con aire que produjeran las variaciones que se observan en la gráfica.



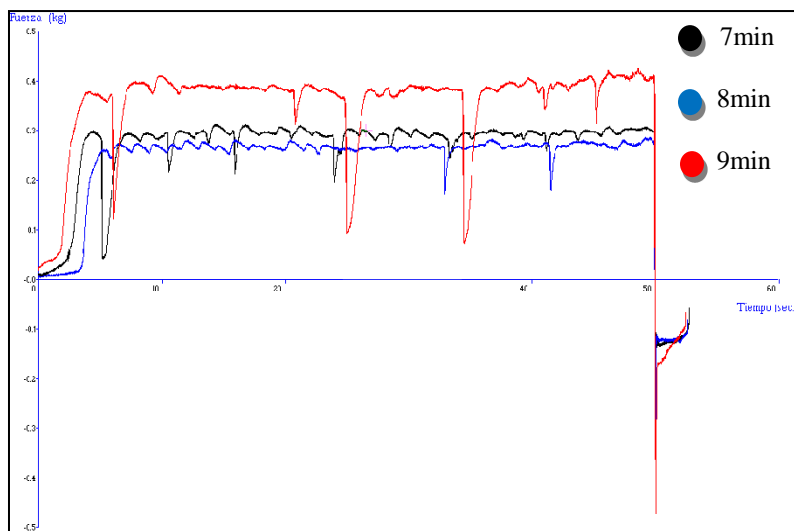


Figura 3.21. Curvas promedio de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC).

La crema batida por nueve minutos obtuvo los valores mayores de trabajo de extrusión y fuerza media (Cuadro 3.15); sin embargo, si se comparan con los valores obtenidos de las cremas H3 y AR a cualquier tiempo de batido, LC batida por nueve minutos presenta valores menores que éstas, lo cual hace ver que LC es una crema que fluye con mucha facilidad

Cuadro 3.15. Parámetros texturales de la prueba de extrusión positiva. Efecto del tiempo de batido sobre la crema líquida para batir Dulcima® Extra (Láctea, LC).

Tiempo de batido	Trabajo extrusión (N s)	Resistencia extrusión (N/s)	Fuerza media (N)
7 minutos	112.42 <sup>a</sup> ± 12.4	2.84 <sup>a</sup> ± 0.08	2.53 <sup>a</sup> ± 0.2
8 minutos	103.25 <sup>a</sup> ± 11.3	3.24 <sup>b</sup> ± 0.1	2.28 <sup>a</sup> ± 0.09
9 minutos	156.74 <sup>b</sup> ± 14.0	2.99 <sup>ab</sup> ± 0.2	3.56 <sup>b</sup> ± 0.1

Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$

### 3.2.3. Pruebas de estabilidad

#### 3.2.3.1. Copas de estabilidad

Las pruebas de estabilidad se realizaron por tres métodos distintos, el primero de ellos fue mediante las copas de drenado. Los datos experimentales de volumen drenado en función al tiempo se ajustaron a un modelo utilizado por Raharitsifa *et al.*, (2006) al que se le denominó curva sigmoideal de drenado y que es descrito por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{V_{max}t^m}{t_{\frac{1}{2}}^m + t^m}$$

Dónde:

V= Volumen de líquido drenado (mL) en un tiempo t

V<sub>max</sub>= Volumen máximo de líquido drenado (mL)

t = Tiempo de drenado (h)

t<sub>1/2</sub>= Tiempo para alcanzar la mitad del volumen máximo

m= Grado de sigmoidealidad, describe el carácter sigmoideal (en forma de s) de la curva

En todos los casos, los datos experimentales se ajustaron a este modelo y se obtuvieron los parámetros característicos para cada crema batida, a éstos se les realizó un análisis estadístico ANOVA.

Se puede ver en las Figuras 3.22 y 3.23 que todas las cremas batidas analizadas permanecen un tiempo sin drenar, luego se obtiene un alto volumen de drenado en poco tiempo. En la Figura 3.22 se muestra el efecto del tiempo de batido sobre el volumen de drenado de la crema H3 y se observa que al aumentar éste, disminuye el lapso de tiempo en que las cremas permanecen sin drenar; sin embargo, se sigue la misma tendencia para todos los tiempos de batido; dicho efecto es similar para las cremas AR y LC.

En la Figura 3.23 se observa que H3 drena mucho más rápido que LC y AR, ésta última es la que drena con mayor lentitud. Los estabilizantes que contienen estas cremas influyen mucho en el tiempo y la cantidad de líquido drenado, H3 contiene un derivado del gel de celulosa mientras que AR contiene además goma xantana y caseinato de sodio, aunque

también puede tener influencia el tipo de grasa de cada crema batida, ya que esta prueba se realizó a temperatura ambiente, por lo que la grasa perdió su estructura cristalina, debilitando así la estructura de la crema batida. Entre más bajo sea el punto de fusión de la grasa más rápido se puede desestabilizar la crema batida que la contiene. Como no se sabe con exactitud el tipo o mezcla que contiene cada clase de crema batida no se puede ahondar más a este respecto.

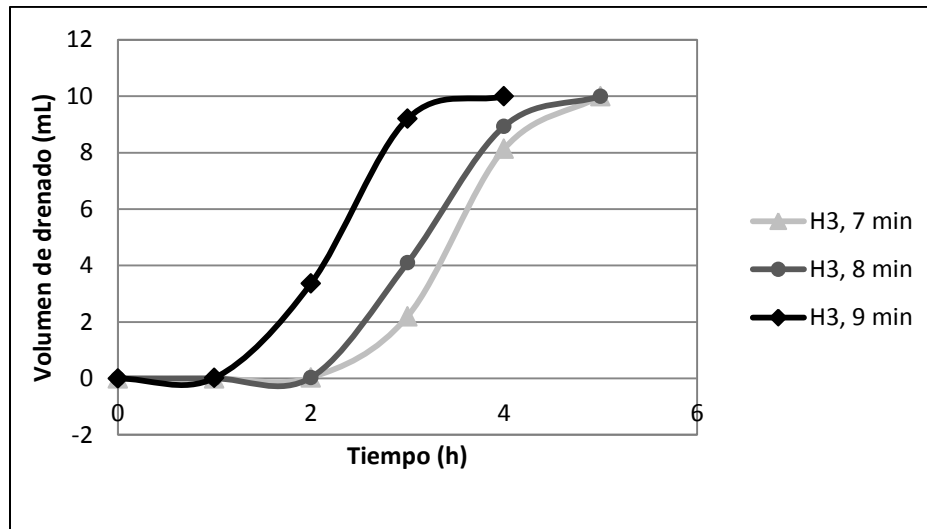


Figura 3.22. Curvas de drenado para la crema batida H3, a tres distintos tiempos de batido.

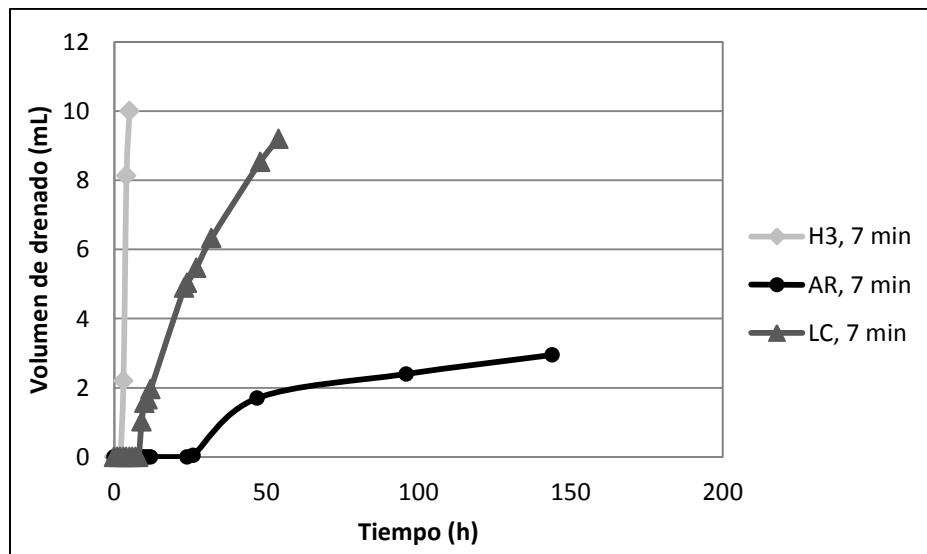


Figura 3.23. Curvas de drenado para las diferentes cremas batidas a un tiempo de batido de siete minutos.

En un estudio realizado por Raharitsifa *et al.* (2006) espumas elaboradas con proteínas y algunos polisacáridos pero exentas de grasa se presentaron valores de “m” muy cercanos a 1, lo cual indica que drenaban rápidamente o que se obtenían grandes cantidades de líquido drenado en cortos periodos de tiempo, a los pocos minutos. Sin embargo, como en la crema batida se tiene un mecanismo extra de estabilización, la red de glóbulos parcialmente coalescidos, los fenómenos de desestabilidad tardaban algunas horas en presentarse. Por ello se tuvieron valores de m mucho más grandes (Cuadro 3.16).

Cuadro 3.16. *Constantes de la ecuación sigmoideal de drenado para el tipo de crema batida y el tiempo de batido.*

Factor de variación		V <sub>max</sub> (mL)	m	t <sub>1/2</sub> (h)
Tipo de crema	H3	10.315 <sup>a</sup>	8.155 <sup>a</sup>	2.871 <sup>a</sup>
	AR	2.407 <sup>b</sup>	8.016 <sup>a</sup>	46.751 <sup>b</sup>
	LC	9.519 <sup>a</sup>	7.729 <sup>a</sup>	17.644 <sup>a</sup> <sup>b</sup>
Tiempo de batido	7 minutos	8.739 <sup>a</sup>	4.407 <sup>a</sup>	41.675 <sup>a</sup>
	8 minutos	5.827 <sup>b</sup>	13.113 <sup>a</sup>	15.251 <sup>a</sup>
	9 minutos	7.674 <sup>a</sup> <sup>b</sup>	6.381 <sup>a</sup>	10.341 <sup>a</sup>

*Para cada factor de variación, los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$*

El Cuadro 3.16 también muestra que el volumen máximo obtenido con H3 y LC es muy similar aunque el tiempo medio es mucho mayor con LC. El volumen máximo con AR es mucho menor y reporta el valor más grande de tiempo medio. El tiempo de batido afecta de manera diferente a las cremas batidas. Las cremas batidas por siete minutos obtuvieron el mayor volumen de drenado y la menor “m”, esto indica que este tiempo de batido no proporciona mucha estabilidad; sin embargo, el menor volumen de drenado y el mayor valor de m se obtuvo con ocho minutos de batido, lo cual muestra que es el tiempo en que todas las cremas tardan más en drenar y presentan una mayor estabilidad en lo que respecta a esta prueba. Batir por nueve minutos hace que las cremas se vuelvan más fáciles de desestabilizar y si se continua batiendo por un poco más de tiempo puede presentar inversión de fases en la crema batida.

Al tratar estadísticamente los resultados de la curva sigmoideal de drenado se puede ver que no hay diferencia significativa en m ni el tiempo medio (t<sub>1/2</sub>) al usar distintas cremas o cambiar el tiempo de batido (Cuadro 3.16), aunque los valores llegan a ser dispares unos de

otros; el caso más notable está en el tiempo medio de drenado al batir a distintos tiempos, así que se decidió ver por separado el efecto del tiempo de batido sobre los parámetros de esta curva (Cuadro 3.17).

En el Cuadro 3.17 se puede confirmar que a los ocho minutos de batido se obtiene mayor estabilidad en las cremas AR y LC, basada en  $m$  y el volumen máximo, al observar las constantes obtenidas con los tres tiempos de batido en la crema H3 se observa que son estadísticamente iguales (excepto en el tiempo medio a los nueve minutos) por lo que se puede decir que la estabilidad de H3 no se ve afectada por el tiempo de batido. Sin embargo, la desviación estándar en las constantes para todas las cremas es alta, esto se debe a la diferencia entre las réplicas que se ocuparon en el análisis estadístico. Cabe señalar que en cada copa de estabilidad se llegaba a un volumen final muy similar, sin embargo en muchas ocasiones las cremas batidas no empezaban a drenar al mismo tiempo o en las mismas cantidades sino hasta transcurridas algunas horas (Figura 2.5), por ello cuando se ajustaban los datos experimentales al modelo matemático, estas diferencias alteraban considerablemente las constantes obtenidas, a pesar de que en todos los casos se obtuvieron coeficientes de correlación altos, y cómo se puede ver, esto afectó el valor de los parámetros obtenidos con la ecuación sigmoideal.

Cuadro 3.17. *Constantes de la ecuación sigmoideal de drenado de las cremas batidas H3, AR y LC. Efecto del tiempo de batido.*

Tipo de crema	Tiempo de batido (min)	$V_{\max}$ (mL)	$m$	$t_{1/2}$ (h)
H3	7	$10.38^a \pm 0.29$	$10.4^a \pm 5.3$	$3.47^a \pm 0.16$
	8	$10.28^a \pm 0.18$	$8.3^a \pm 1.7$	$3.16^a \pm 0.05$
	9	$10.03^a \pm 0.03$	$10.6^a \pm 1.4$	$2.24^b \pm 0.36$
AR	7	$4.21^a \pm 2.10$	$3.4^a \pm 3.5$	$90.4^a \pm 68.2$
	8	$1.65^a \pm 0.07$	$15.2^a \pm 11.2$	$29.5^a \pm 3.7$
	9	$1.36^a \pm 0.08$	$5.4^a \pm 4.8$	$20.3^a \pm 7.0$
LC	7	$15.08^a \pm 6.5$	$1.99^a \pm 1.2$	$42.6^a \pm 21.0$
	8	$4.45^b \pm 2.1$	$11.59^a \pm 11.9$	$14.8^{ab} \pm 3.1$
	9	$10.90^{ab} \pm 1.3$	$4.86^a \pm 1.7$	$8.0^b \pm 1.2$

*Para cada tipo de crema, los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$*

### 3.2.3.2 Tamaño de burbuja durante el batido

El proceso de batido se puede dividir en dos etapas: en la primera una gran cantidad de aire es incorporada en la emulsión, por lo que el diámetro de la burbuja también es bastante grande lo cual no contribuye a la formación de una crema batida persistente, por ello la segunda etapa tiene como propósito disminuir el diámetro promedio de las burbujas, aumentando así el área superficial, para obtener una distribución más uniforme. La estructura desarrollada durante este proceso implica que la red de glóbulos semicristalinos se acumule en la superficie de las burbujas (Noda y Shiinoki, 1986).

En las Figuras 3.24 a 3.26 se puede observar el diámetro de burbuja y la desviación estándar de éstas durante el proceso de batido así como el diámetro inicial que alcanzó en los tres tiempos de batido utilizados, para cada una de las cremas estudiadas. Todas las Figuras muestran una tendencia similar, a los pocos minutos de batido el diámetro de burbuja es muy grande y su desviación es amplia pero conforme continúa el batido ambos parámetros empiezan a disminuir, lo cual quiere decir que se están formando más burbujas de diámetro menor y similar, lo cual favorece las interacciones por el aumento del área superficial. Sin embargo, en un momento determinado y diferente para cada crema, el diámetro de burbuja aumenta un poco su tamaño.

Krampf *et al.*, (2003) reportaron que el tamaño de las burbujas disminuye progresivamente con el tiempo de batido. Sin embargo, Brygidyr *et al.*, (1977) encontraron que después de alcanzar un diámetro mínimo, el diámetro de las burbujas aumenta de nuevo debido al sobre batido, y Thakur *et al.*, (2003) explicaron que este diámetro mínimo se logra cuando existe un equilibrio entre las fuerzas viscosas que tienden a deformar y disgregar las burbujas y las fuerzas interfaciales que se oponen a la ruptura de la burbuja. Un batido por tiempo prolongado provoca la pérdida de burbujas, el aumento del diámetro promedio y si continúa la inversión de fases (Kirsty *et al.*, 2005).

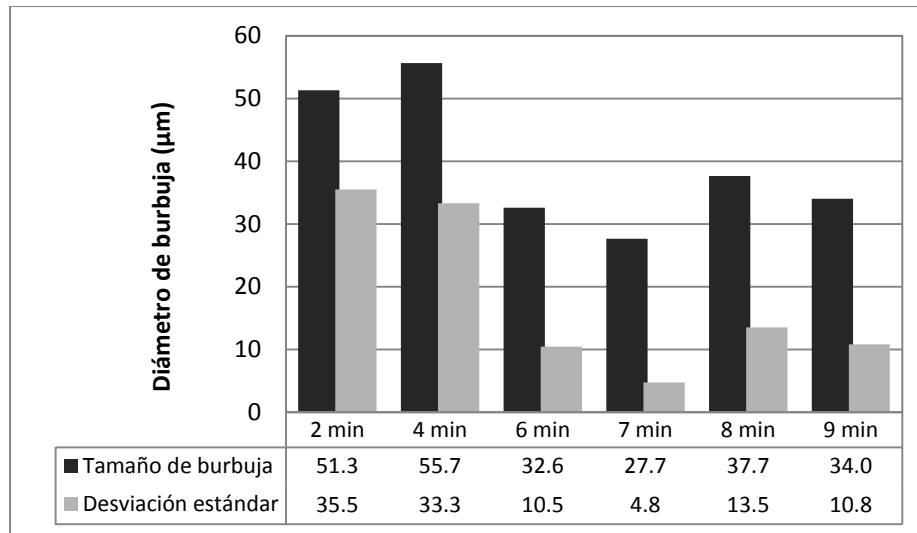


Figura 3.24. Distribución del tamaño de burbuja durante el proceso de batido para la crema batida Dulcima® H3.

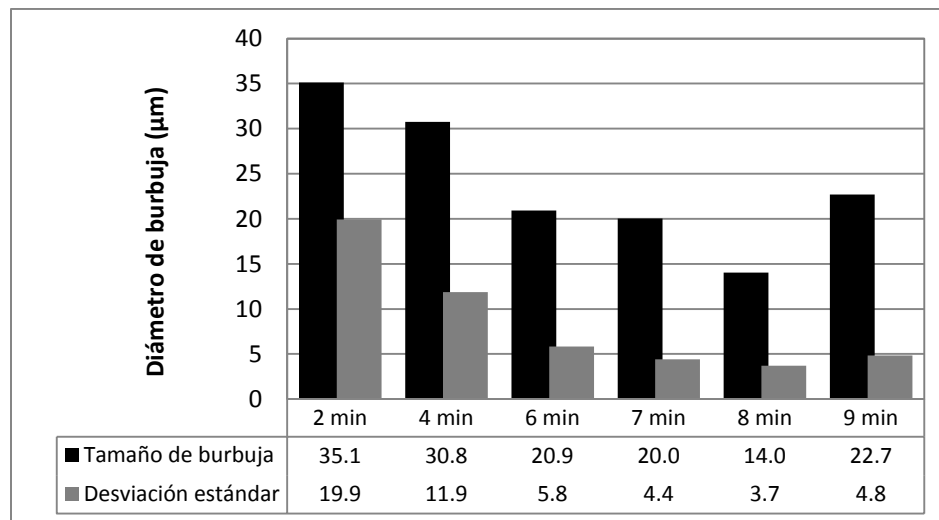


Figura 3.25. Distribución del tamaño de burbuja durante el proceso de batido para la crema batida Dulcima® AR.

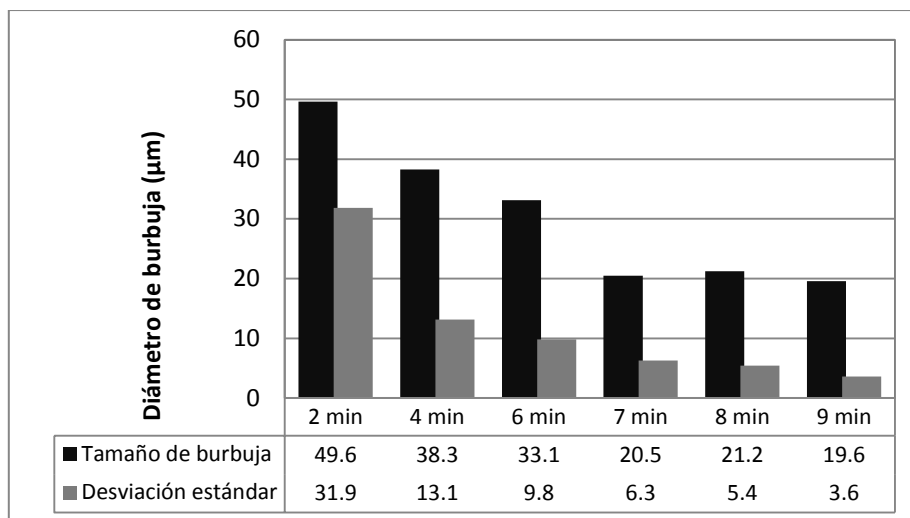


Figura 3.26. Distribución del tamaño de burbuja durante el proceso de batido para la crema batida Dulcima® LC.

También se puede observar que desde el principio del batido la crema AR presenta un diámetro de burbuja menor (Figura 3.25) que el de las cremas H3 y LC (Figuras 3.24 y 3.26), las cuales tienen un valor inicial muy similar pero conforme avanza el proceso de batido la crema LC alcanza un diámetro mucho menor, comparable en ocasiones con el que alcanzó la crema batida AR.

### 3.2.3.3 Tamaño de burbuja en función al tiempo de reposo

La estructura porosa de las espumas aumenta la transferencia de masa lo cual ocasiona cortos tiempos de drenado del líquido contenido en la espuma (Raharitsifa *et al.*, 2006). En las gráficas se puede ver que las cremas que tuvieron un diámetro de burbuja mayor fueron las H3 (Figura 3.27), por lo cual se puede decir que son las más “porosas” y claramente se vio que fueron las que drenaron primero (Figura 3.23).

El proceso de inestabilidad de las espumas comienza con el drenado de la fase continua a través de la lamela existente entre las burbujas. Como resultado ésta se adelgaza favoreciendo la transferencia de masa, en forma de gas, lo cual permite el crecimiento de grandes burbujas a expensas de las pequeñas. Este proceso continúa con la coalescencia de las burbujas debido a que la delgada capa entre dos burbujas colapsa y éstas se fusionan en una sola y termina con la separación de fases lo cual resulta en una menor cantidad de



burbujas en la crema batida y un considerable aumento del líquido drenado (Raharitsifa *et al.*, 2006).

Para las cremas batidas H3 de siete y ocho minutos y AR de siete minutos se puede ver que se repite este proceso en algunas ocasiones (Figuras 3.27 y 3.28) ya que se pueden observar picos positivos y negativos a lo largo del tiempo monitoreado. La crema batida H3 a los siete minutos fue la que perdió su estabilidad más rápido, ya que aproximadamente a las 6 horas presentaba un tamaño de partícula cercano a los 80  $\mu\text{m}$ . En las cremas H3 y LC a los nueve minutos de batido se puede ver que existe una tendencia a aumentar en el diámetro de burbuja, lo cual indica que este proceso de inestabilidad se llevó a cabo con mayor rapidez (Figuras 3.27 y 3.29). La crema más estable fue la AR batida por ocho minutos, ya que el diámetro de burbuja permanece casi constante a lo largo del tiempo de muestreo, aunque para todas las cremas con ocho minutos de batido se obtiene el diámetro de burbuja más estable.

Debido al gran tamaño de las burbujas y su considerable diferencia de densidad con la fase continua que las rodea, éstas rápidamente pueden perder su integridad provocando el drenado del líquido. Consecuentemente se puede decir que las pruebas de microscopía y copas de drenado son útiles para entender y cuantificar los fenómenos de desestabilización y complementando una con la otra, el entendimiento de dichos procesos es mayor.

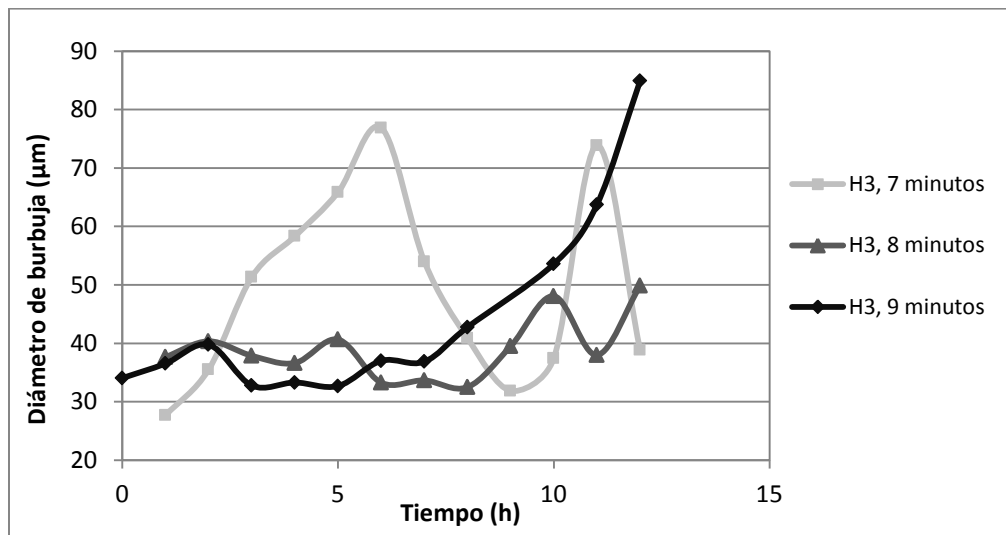


Figura 3.27. Cambio del tamaño de burbuja en función al tiempo para la crema batida Dulcima® H3 con distintos tiempos de batido.

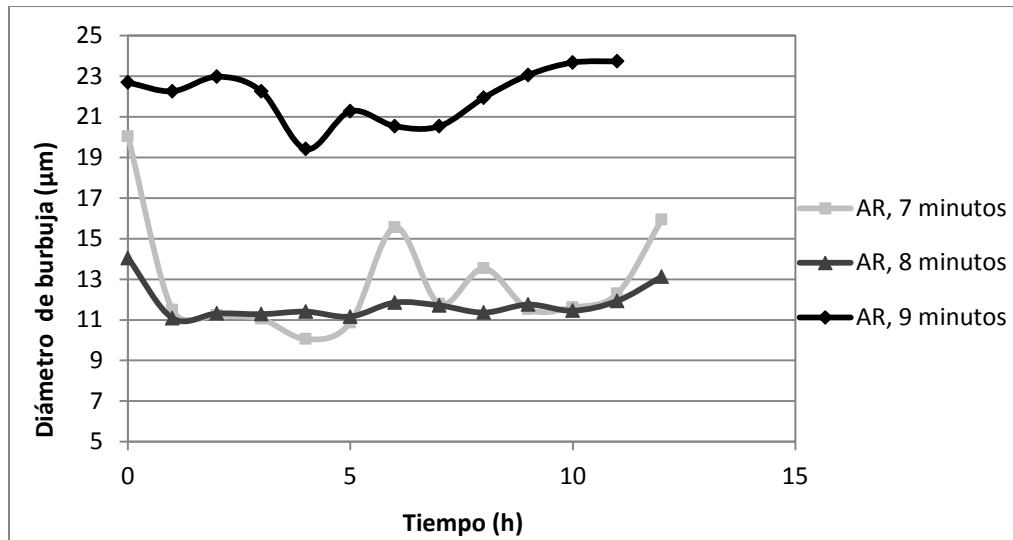


Figura 3.28. Cambio del tamaño de burbuja en función al tiempo para la crema batida Dulcima® AR con distintos tiempos de batido.

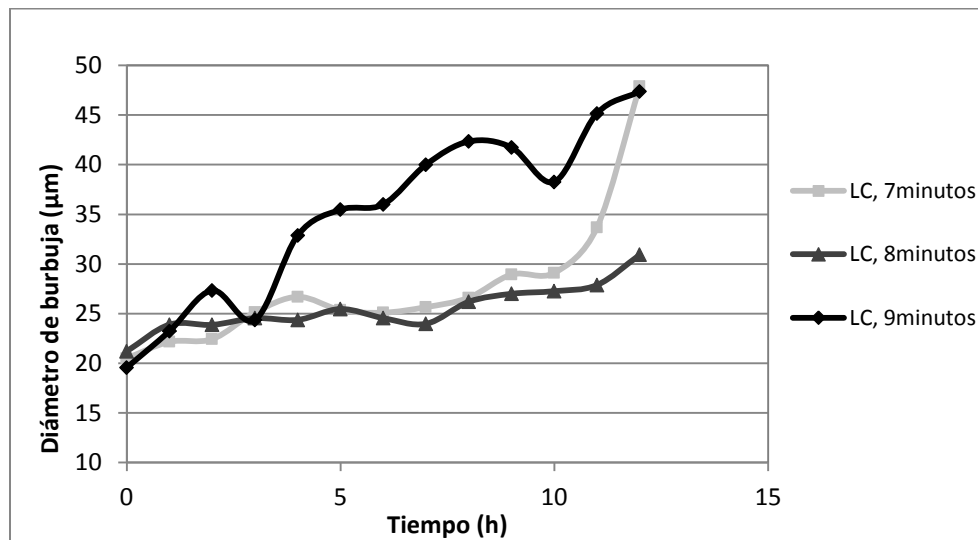


Figura 3.29. Cambio del tamaño de burbuja en función al tiempo para la crema batida Dulcima® LC con distintos tiempos de batido.

En los apéndices I a IX se puede ver una muestra de las fotografías tomadas en el microscopio durante el monitoreo después de la elaboración de cada una de las nueve diferentes cremas batidas obtenidas (por el efecto del tipo de crema y tiempo de batido).

#### 3.2.3.4 Dispersión óptica de la luz

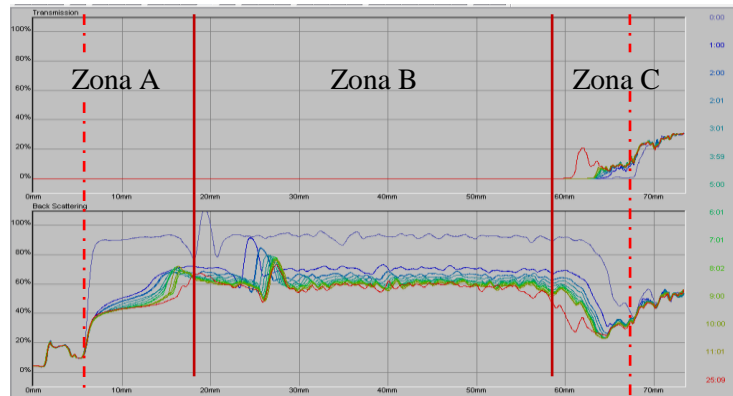
Se utilizó el método de dispersión óptica de la luz para monitorear la estabilidad de las cremas batidas porque es conocido que un rayo de luz incidente sobre un cuerpo provoca una respuesta de iguales características y diferente magnitud, dependiendo del tamaño y forma de las partículas que lo conforman; la respuesta es comúnmente observada como dispersión de la luz. Este fenómeno es el indicador más sensible de los procesos de inestabilidad en sistemas coloidales, como lo son la floculación y la precipitación (Morrison, y Ross, 2002).

Mediante el instrumento se obtuvo la gráfica del porcentaje de luz transmitida y luz retrodispersada a través de toda la muestra con el paso del tiempo. En estas gráficas se pueden distinguir tres zonas principales (Figura 3.30); la zona A pertenece al drenado del líquido (parte baja del tubo), la B a la floculación y crecimiento de las burbujas (parte media) y la C al colapso de la espuma, o pérdida del volumen (parte superior).

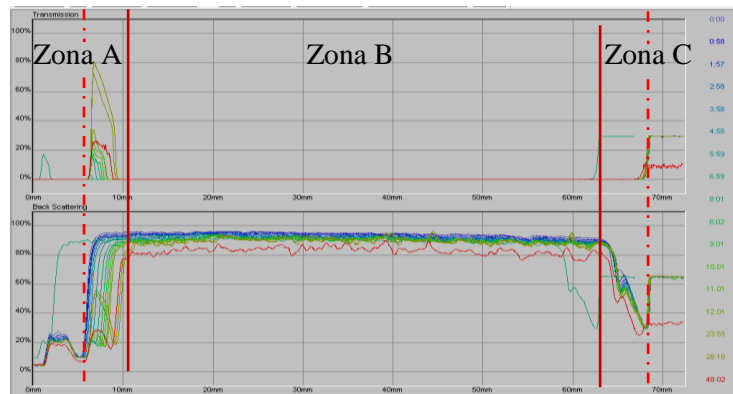
Al analizar las gráficas obtenidas en el Turbiscan de las tres distintas cremas con el mismo tiempo de batido se puede observar que todas presentan una manera de dispersar la luz muy diferente; por ejemplo, al hablar de la zona A la crema batida AR (Figura 3.30b) presenta una serie de picos de aumento de transmisión de luz en la parte baja del tubo aproximadamente a las 8 horas de ser elaborada, lo que corresponde al líquido drenado, que al ser transparente transmite una mayor cantidad de luz, por otro lado las cremas H3 y LC (Figura 3.30a y 3.30c) sólo muestra datos en la zona de retrodispersión, lo cual no quiere decir que no hayan drenado, sino que el drenado era lo bastante opaco y blanco como para dispersar la luz incidente, y al ser más denso y homogéneo que la crema batida se asentaba en el fondo del tubo y su porcentaje de dispersión de luz no tenía tantos altibajos, de esta manera se podía definir al inicio de la gráfica la parte que correspondía al drenado en estas dos cremas, con la disminución de la retrodispersión y el desplazamiento a la derecha de las curvas. La crema H3 siempre dreno desde la primera hora de muestreo y LC comenzaba a mostrar datos de drenado de líquido entre una y dos horas después de ser elaborada.

En la zona B, de crecimiento de burbujas AR desde el principio es muy homogénea porque dispersaba un porcentaje de luz casi constante, además de que durante las primeras horas las gráficas obtenidas prácticamente se empalmaban una sobre la otra en esta zona y no fue

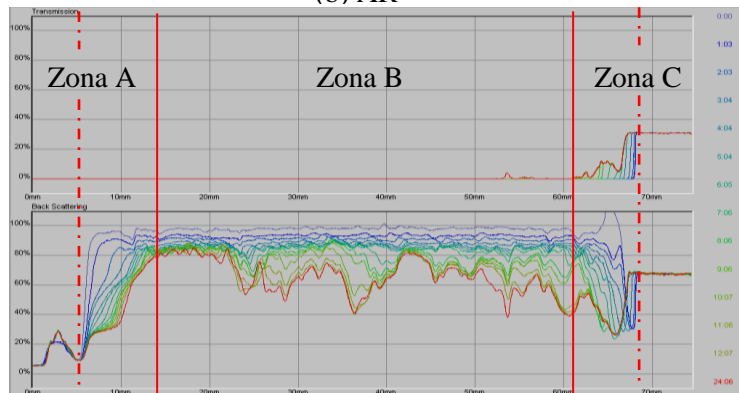
sino hasta pasadas varias horas (5 ó 6 horas) que se empezaron a ver protuberancias, esto quiere decir que la distribución y forma de las burbujas de aire no cambiaron significativamente durante periodo de tiempo considerable.



(a) H3



(b) AR



(c) LC

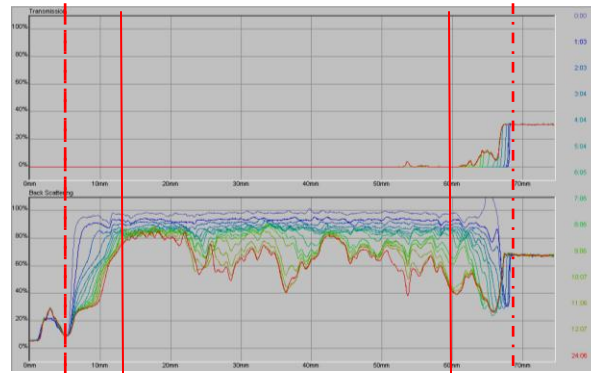
*Figura 3.30.* Gráficas del porcentaje de transmisión y retrodispersión de luz de (a) Crema batida Dulcima® H3 con un tiempo de batido de 7 minutos, (b) Crema batida Dulcima® AR con un tiempo de batido de 7 minutos y (c) Crema batida Dulcima® LC con un tiempo de batido de 7 minutos. Las líneas punteadas delimitan a la muestra.

A diferencia en la crema H3 se pueden ver algunos altibajos en esa zona y es notorio que en la primera hora hubo un cambio drástico en toda la estructura de la crema, lo cual implicaba que el tamaño y forma de las burbujas se modificó de tal modo que ahora el sistema dispersaba una menor cantidad de luz por tener menos centros de dispersión, debido a un mayor tamaño y diferente distribución de las burbujas; las gráficas fueron más similares hasta después de transcurridas unas horas. También, es muy marcado un pico durante todo el escaneo, el cual pudiera corresponder a un espacio vacío.

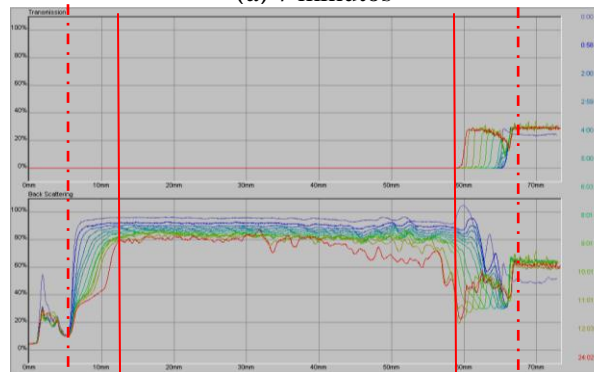
Se puede ver que la crema que tuvo más cambios en la zona B fue la LC, porque aunque en al principio comienza siendo bastante homogénea, su estructura va cambiando desde la primera hora de monitoreo hasta el final, aunque se notaron más protuberancias y altibajos en el porcentaje de luz dispersada después de 5 horas de muestreo. Este comportamiento indica que las burbujas de aire que conformaban al sistema comenzaron con un tamaño y distribución similares, pero con el paso del tiempo cambiaban continuamente; después de varias horas el tamaño de las burbujas era mucho más grande y se encontraban más separadas unas de otras.

Finalmente la zona C, en donde se observan picos de transmisión y que corresponde a la pérdida de volumen de la crema batida, se puede notar que la crema batida AR prácticamente conservó su mismo volumen, mientras que H3 y sobretodo LC tuvieron mucho cambio en esta zona, indicando la pérdida de parte de su volumen inicial. Sin embargo, hay que aclarar que particularmente en esta zona el equipo pierde un poco de confiabilidad porque al colisionar las burbujas de aire, parte de la fase continua se queda pegada en el cristal del tubo que contiene la muestra, por lo que es difícil que el equipo pueda registrar el volumen real de la espuma.

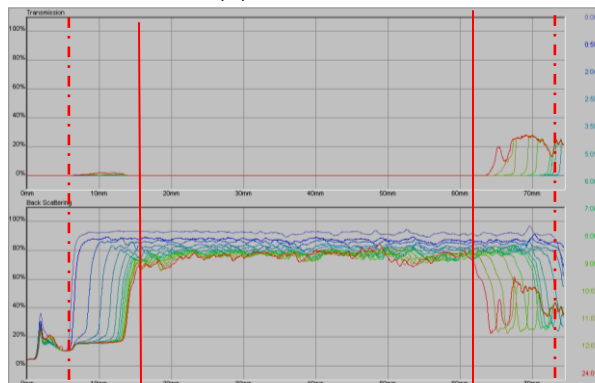
Con este instrumento también fue posible visualizar las diferencias en la estabilidad de una crema batida por efecto del tiempo de batido, en dónde se observaron las mayores diferencias fue para la crema batida LC (Figura 3.31). Existe una diferencia notable entre los siete y ocho minutos de batido, la crema de ocho minutos fue más estable durante todo el periodo monitoreado, aunque en las últimas horas se pueden apreciar mayores protuberancias en el porcentaje de transmisión de luz en la parte superior de tubo, indicativo del colapso de la espuma.



(a) 7 minutos



(a) 8 minutos



(a) 9 minutos

*Figura 3.31.* Gráficas del porcentaje de transmisión y retrodispersión de luz de (a) Crema batida Dulcima® LC con un tiempo de batido de 7 minutos, (b) Crema batida Dulcima® LC con un tiempo de batido de 8 minutos y (c) Crema batida Dulcima® LC con un tiempo de batido de 9 minutos.

En la Figura 3.31c se observa que la crema batida por nueve minutos tuvo más líquido drenado y su pérdida de volumen fue considerable, sin embargo la distribución y forma de las burbujas no cambió tanto como en el caso de los dos tiempos de batido más bajos.

Aunque es muy fácil visualizar los cambios que sufre la espuma a través del tiempo este método tiene varios inconvenientes, ya que al tratarse de un producto semisólido es difícil llenar homogéneamente la parte del tubo que se va a analizar. Además los tubos se llenaban tratando de alcanzar una determinada altura, lo cual no siempre se lograba, por lo que en ocasiones había más muestra y con ello mayor volumen de drenado. Todos estos factores eran fuente de error cuando se trataba de analizar los datos, por lo que en ocasiones se dificultaba obtener una tendencia o ajustar dichos datos a un modelo matemático. De las tres zonas analizadas se pudo obtener una tendencia más o menos definida para la zona A, los datos se graficaron a partir de que se obtuvo un resultado diferente de cero para el drenado de líquido, la crema H3 se graficó desde la primera hora, LC desde la primera o segunda hora y AR después de 12h (siete y ocho minutos de batido) y 25h (nueve minutos de batido) de monitoreo y por ello se tienen menos datos para esta crema. En general las muestras de la crema H3 se ajustaron mejor a un modelo polinómico de segundo grado:

$$y = ax^2 + bx + c;$$

Dónde:

y = volumen drenado (mL)

a = cambio en la velocidad de drenado (mL/h<sup>2</sup>)

b = velocidad inicial de drenado (mL/h)

Las cremas AR y LC se ajustaban bastante bien a una línea recta:

$$y = bx + c$$

Dónde:

y = volumen drenado (mL)

b = velocidad de drenado (mL/h)

Estos modelos se pueden observar en la Figura 3.32.

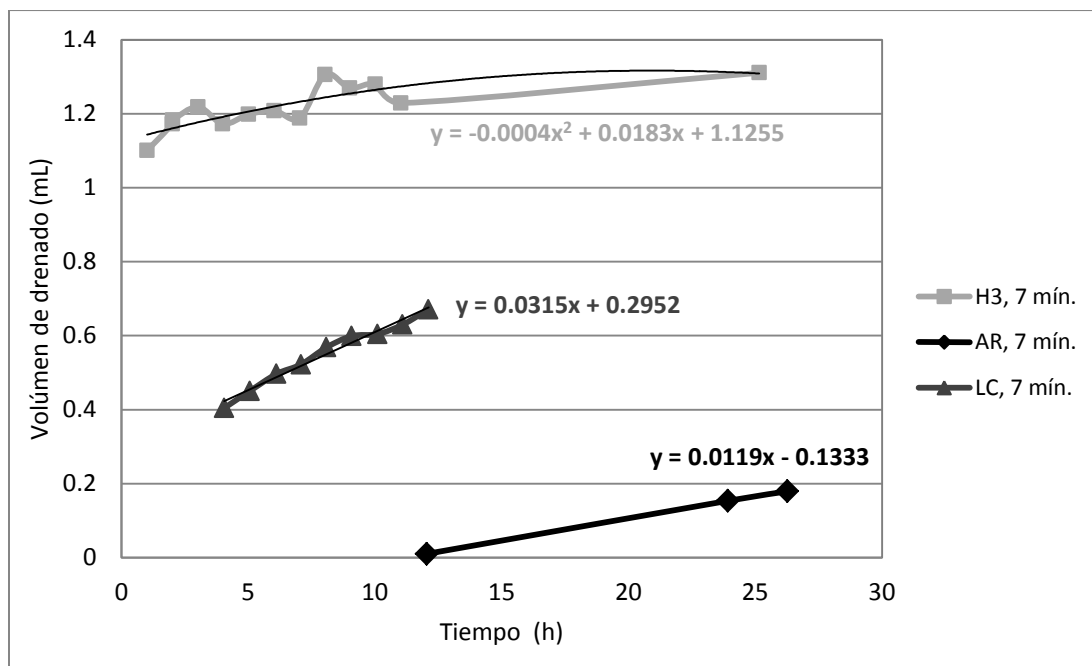


Figura 3.32. Datos de drenado obtenidos por dispersión y transmisión óptica de la luz para una de las réplicas de las cremas Dulcima® H3, AR y LC.

La crema H3 fue la única crema que presentó un cambio significativo en la velocidad de drenado, lo cual se puede deber a que el tiempo de drenado fue muy corto, sólo de unas cuantas horas, por lo cual se pudo distinguir también la magnitud con la que la velocidad de drenado iba disminuyendo al pasar el tiempo (Cuadro 3.18).

Cuadro 3.18. Velocidad de drenado promedio de las cremas batidas Dulcima® H3, AR y LC. Efecto del tiempo de batido.

Tiempo de batido	Modelo polinomial de segundo grado		Modelo lineal	
	H3		AR	LC
	Velocidad inicial de drenado (mL/h)	Cambio de la vel. drenado (mL/h <sup>2</sup> )	Velocidad de drenado (mL/h)	Velocidad de drenado (mL/h)
7 minutos	0.020 <sup>a</sup> ± 0.002	-0.00043 <sup>a</sup> ± 0.00003	0.0142 <sup>a</sup> ± 0.0020	0.028 <sup>a</sup> ± 0.010
8 minutos	0.380 <sup>b</sup> ± 0.030	-0.01382 <sup>b</sup> ± 0.00	0.0150 <sup>a</sup> ± 0.0005	0.058 <sup>b</sup> ± 0.011
9 minutos	0.026 <sup>a</sup> ± 0.003	-0.00030 <sup>c</sup> ± 0.00003	0.0180 <sup>a</sup> ± 0.0005	0.024 <sup>a</sup> ± 0.004

Los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$



El batido de ocho minutos para la crema H3 fue el que produjo una velocidad inicial de drenado muy alta, pero también fue el que presentó una desaceleración de la velocidad mayor, así que con el paso del tiempo el volumen drenado pudo haber sido similar a las cremas de siete y nueve minutos. Para AR y LC ese cambio es igual a cero, lo cual indica que en el periodo de tiempo que se analizaron drenaron a velocidad constante. La velocidad de drenado de LC en los tres tiempos de batido fue mayor que para AR.

El Cuadro 3.19 muestra que la velocidad de drenado mayor se obtuvo con la crema H3 y la menor con la AR, que contenía un mayor número de estabilizantes en la fase continua, lo cual concuerda con lo obtenido en las copas de estabilidad. Además se puede notar que la velocidad de drenado fue mayor para un tiempo de batido de 8 minutos debido a que las cremas H3 y LC batidas durante ese tiempo presentaron una velocidad de drenado más alta con respecto a los otros dos tiempos de batido. No existe diferencia significativa en la velocidad de drenado a los siete y nueve minutos de batido.

Cuadro 3.19. *Velocidad de drenado de la crema batida. Efecto del tipo de crema líquida y del tiempo de batido. Para H3 se utilizó la velocidad inicial de drenado.*

Factor de variación		Velocidad drenado (mL/h)
Tipo de crema	H3	0.1417 <sup>a</sup>
	AR	0.01574 <sup>b</sup>
	LC	0.04173 <sup>c</sup>
Tiempo de batido	7 minutos	0.02266 <sup>a</sup>
	8 minutos	0.1532 <sup>b</sup>
	9 minutos	0.02330 <sup>a</sup>

*Para cada factor de variación, los valores con el mismo subíndice en una misma columna resultaron ser estadísticamente iguales, al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha=0.05$*

## Conclusiones y recomendaciones

El análisis de las propiedades físicas de las cremas líquidas para batir y de las propiedades de textura y estabilidad de las cremas batidas resultantes a tres tiempos de batido diferentes, estudiadas por medio de distintas técnicas experimentales, entre las que se encuentran la caracterización física y reológica, pruebas específicas de textura mediante el texturómetro, la microscopía óptica y métodos volumétricos, puede servir como una herramienta para el control de calidad y proceso en la manufactura de cremas batidas.

No existieron diferencias significativas en la densidad y diámetro del glóbulo entre cremas líquidas. Los parámetros reológicos de la curva de velocidad de cizalla de ascenso fueron muy similares pero en el descenso de la misma cada crema presentó un comportamiento diferente, aunque todas fueron adelgazantes a la cizalla y dependientes del tiempo.

Las pruebas de adhesividad por penetración y extrusión positiva permiten diferenciar entre los tipos de cremas analizadas. Las pruebas de adhesividad por penetración y por contacto permiten evaluar la manifestación de las propiedades adhesivas bajo distintas condiciones.

Entre las aplicaciones de las cremas batidas se recomienda la crema batida H3 para usarse como relleno de panadería y para formar figuras decorativas, ya que sus altas propiedades adhesivas y dureza impiden que esta crema pierda rápidamente la forma que se le da. La crema LC batida por nueve minutos, es apta como cubierta de pasteles y otros productos de panificación porque es muy untable pero al mismo tiempo adhesiva. La crema batida AR por su alto rendimiento tiene una densidad menor y es muy estable, es la más indicada para usarse como “topping” en bebidas calientes o frías.

El tiempo de batido de ocho minutos resultó en tamaños de burbuja menores y que permanecían de ese tamaño durante más tiempo, pero el método de dispersión óptica de la luz dejó ver que los cambios en la zona de crecimiento de burbujas tardaban más en aparecer en cremas con nueve minutos de batido.

A través de este estudio se pudo constatar que las copas de estabilidad siguen siendo un método barato y preciso para determinar y diferenciar el volumen drenado en las cremas batidas. La dispersión óptica de la luz es un método muy sensible para determinar las

diferencias en la estructura de las espumas con respecto al tiempo. Sin embargo, como hay varios factores que causan error debido a que el carácter semisólido de las muestras, dificulta un llenado repetible de los tubos y es difícil obtener valores cuantitativos repetibles. El monitoreo de las burbujas de aire por microscopía permite entender y observar mejor el proceso de elaboración de la crema batida y los fenómenos de desestabilización y siendo complemento de las copas de estabilidad, la información recabada es mucho más completa.

Los métodos de copas de drenado y dispersión óptica de la luz permiten diferenciar claramente entre tipos de crema, pero no es posible obtener una tendencia definida para los distintos tiempos de batido, a diferencia del monitoreo de burbujas de aire por microscopía, que permite diferenciar tanto entre cremas como entre tiempos de batido.

Con el fin de ampliar el análisis de las propiedades de textura y estabilidad en cremas batidas comerciales se hacen las siguientes recomendaciones:

- Analizar cremas batidas de diferentes marcas que tengan el mismo tipo de fuente grasa (animal, vegetal o mixta).
- Ver el efecto que tiene aplicar dos tipos diferentes de batido (mecánico o por altas presiones) sobre las propiedades texturales y de estabilidad de la cremas batidas.
- Realizar pruebas de reología tanto a la crema líquida como a la crema ya batida y durante el batido para comparar los cambios que sufre durante su elaboración. Utilizar también pruebas bajo cizalla oscilatoria y obtener las propiedades viscoelásticas.
- Estudiar el efecto del tratamiento térmico a la crema líquida y del temperado de la crema ya batida sobre la estabilidad de éstas.

## Referencias Bibliográficas

- Allen, K., Dickinson, E., Murray B. (2006). Acidified sodium caseinate emulsion foams containing liquid fat: A comparison with whipped cream. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie (LWT)*, 39, 225-234.
- Arboleya, J. Michael, J., Wilde, P. (2009). Rheological behaviour of aerated palm kernel oil/water emulsions. *Food Hydrocolloids*, **23**(5), 1358-1365.
- Arboleya, J., Wilde, P. J. (2005). Competitive adsorption of proteins with methylcellulose and hydroxypropil methylcellulose. *Food Hydrocolloids*, **19**, 485-491.
- Binks, B. P. (1998). *Modern Aspects of Emulsion Science*. The Royal Society of Chemistry. England.
- Bode, K. (1992). Partial coalescence in oil-in-water emulsions. PhD thesis, Wageningen, Agricultural University, USA, 1-159
- Bode, K., Walstra, P. (1993). Partial coalescence in oil-in-water emulsions 1. Nature of the aggregation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **81**, 121-137.
- Borcherding, K., Lorenzen, P. Hoffmann, W., Schrader, K. (2008). Effect of foaming temperature and varying time/temperature-conditions of pre-heating on the foaming properties of skimmed milk. *International Dairy Journal*, **18**, 349-358.
- Bourne, M. (1985). *Food Texture and Viscosity; Concept and Measurement*. Academic Press, Inc. USA.
- Brygidyr, A. M., Rzepecka, M. A., McConnell, M. B. (1977). Characterization and drying of tomato paste foam by hot air and microwave energy. *Journal of Institute Canadian Science and Technology*, **10**, 113-119.
- Casas, A. N., Ramírez, O. M. (2001). Apuntes de textura del seminario de titulación: Reología y textura de materiales biológicos. FESC UNAM. México.
- Coupland, J. N. (2002). Crystallization in emulsions. *Current Option in Colloid & Interfase Science*, **7**, 445-450.

- Dalgleish, D. (2006). Food emulsions – their structures and structure-forming properties. *Food Hydrocolloids*, **20**, 415-422
- Davies, E., Dickinson, E., Bee, R. (2001). Orthokinetic desestabilization of emulsions by saturated and unsaturated monoglycerides. *International Dairy Journal*, **11**, 827-836.
- deMan, J. M. (1976). Mechanical properties of foods. In *Rheology and Texture in Food Quality*, eds. J. M. deMan, P. W. Voisey, V. F. Rasper y D. W. Stanley. AVI. USA, 8-27.
- Dickinson, E. (1992). Emulsifying and foaming properties of proteins. *Food Science and Technology Today*, **63**, 152-155
- Drelon, N. Gravier, E. Daheron L. Omari, A. Leal-Calderón, F. (2006). Influence of tempering on the mechanical properties of whipped dairy creams. *International Dairy Journal*, **16**, 1454-1463.
- Dutta, A. Chengara, A. Nikolov, A. Wasan, D. Chen, K. Campbell, B. (2004). Desestabilization of aerated food products: Effects of Ostwald ripening and gas diffusion. *Journal of Food Engineering*, **62**, 177-184.
- Eisner, M. Wildmoser, H Windhab, E. (2005). Air cell microstructuring in a high viscous ice cream matrix. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, **263**, 390-399.
- Fennema, O. (1985). *Introducción a la Ciencia de los Alimentos*. Editorial Reverté. México
- Formulation (2000). *Migration Software*. Versión 1.3. Francia.
- Goff, H., Jordan, D. (1997). Instability and partial coalescence in dairy emulsions. *Journal of Dairy Science*, **80**, 2620-2630.
- Graf, E., Müller, H. R. (1965). Fine structure and whippability of sterilized cream. *Milchwissenschaft*, **20**, 302-308.
- Gravier, E. Drelon, N. Boisserie, L. Omari, A. Leal Calderon, F. (2006) Consolidation of foams deriving from emulsions by temperature cycling (“tempering”). *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **282**, 360-368.

- Granger, C. Barey, P. Combe, N. Veschambre, P., Cansell, M. (2003). Influence of the fat characteristics on the physicochemical behavior in oil-in-water emulsions based on milk proteins-glycerol esters mixtures. *Colloids and Surfaces B:Biointerfaces*, **32**, 353-363.
- Hoseney, R. C., Smewing, J. O. (1999). Instrumental measurement of stickiness of doughs and other foods. *Journal of Texture Studies*, **30**, 123-136.
- Jakubczyk, E., Niranjana, K. (2006). Transient development of whipped cream properties. *Journal of Food Engineering*, **77**, 79-83.
- Kováčová, R. Stetina, J., Curda, L. (2010). Influence of processing and  $\kappa$ -carrageenan on properties of whipped cream. *Journal of Food Processing*, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.02.010.
- Kokelaar, J. J. Van Vliet, T., Prins, A. (1995). Surface and bulk properties in relation to bubble stability in bread dough. In *Food Macromolecules and Colloids*, eds. E. Dickenson y D. Lorient. The Royal Society of Chemistry. London, 277-284.
- Krampf, N. González, M. C. Corradini, M. G., Peleg, M. (2003). Effect of two gums on development, rheological properties and stability of egg albumen foams. *Rheological Acta*, **42**, 256-268.
- Krong, N. Barford, N. M., Buchheim, W. (1987). Protein-fat-surfactant interactions in whippable emulsions. In *Food Emulsions and Foams*, ed. E. Dickinson. Royal Society of Chemistry. London, 144-157.
- Leal-Calderón, F. Thivilliers, F. Schmit, V. (2007). Structured emulsions. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*. **12**, 206-212.
- Lesser, M. E., Michel, M. (1999). Aereated milk protein emulsions- New microstructural aspects. *Current Opinion of Colloid & Interface Science*, **4**, 239-244.
- Mackie, A., Gunning, A.P., Wilde, P., Morris, V. (1999). Orogenic displacement of protein from the air/water interface by competitive adsorption. (1999). *Journal of Colloid and Interface Science*, **210**, 157-166.

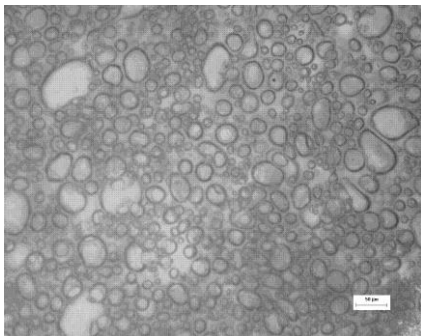
- Marshall, R. Goff, H. D., Hartel, R. W. (2003). *Ice Cream*, 6th Edition. Kluwer Academic. New York.
- Morrison, J., Ross, S. (2002). *Colloidal Dispersions: Suspensions, Emulsions and Foams*. Wiley-Interscience. USA.
- Mulder, H., Walstra, P. (1974). *The milk fat globule*. Wageningen: Pudoc, Netherlands.
- Needs, E., Huitson, A. (1991). The contribution of milk serum proteins to the development of whipped cream structure. *Food Structure*, **10**, 353-360.
- Noda, M., Shiinoki, Y. (1986). Microstructure and rheological behavior of whipping cream. *Journal of Texture Studies*, **17**(2), 189-204
- Petsev, D. N. (2004). *Emulsions: Structure, Stability and Interactions*. Interfase Science and Technology, 4. Elsevier Academic Press. USA.
- Piazza, L. Gigli, J. Rojas, C. Ballabio, D. Todeschini, R., Tripaldi, P. (2009). Dairy cream response in instrumental texture evaluation process by multivariate analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **96**, 258-263.
- Pilhofer, G. M. Lee, H. McCarthy, M. J. Tong, P. S., German J. B. (1994). Functionality of milk fat in foam formation and stability. *Journal of Dairy Science*, **77**, 55-63.
- Princen, H.M., Kiss, A. D. (1986). Rheology of foams and highly concentrated emulsions: III: Static shear modulus. *Journal Colloid Interfase Science*, **112**, 427-37.
- Raharitsifa, N. Genovese, D., Ratti, C. (2006). Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. *Journal of Food Science*, **71**(3), 142-151.
- Raymundo, A. Empis, J. Sousa, I. Gallegos, C., Franco, J. M. (2001). Influencia de la relación proteína de altramuz/tensoactivo en las propiedades de flujo y texturales de las emulsiones aceite en agua. *Grasas y aceites*, **52**, 235-240.
- Rosseau, D. (2000). Fat crystals and emulsion stability- a review. *Food Research International*, **33**, 3-14.
- Schmidt, D. G., van Hooydonk, A. C. M. (1980). A scanning electron microscopical investigation of the whipping cream. *Scanning Electron Microscopy*, **3**, 644-653

- Sherman, P. (1970). *Industrial Rheology with Particular reference to Foods, Pharmaceuticals and Cosmetics*. Academic Press. USA.
- Smith, A. K. Goff, H. D., Kakuda, Y. (2000). Microstructure and rheological properties of whipped cream as affected by heat treatment and addition of stabilizer. *International Dairy Journal*, **10**, 295-301.
- Stanley, D. W. Goff, H. D., Smith A. K. (1996). Texture-structure relationships in foamed dairy emulsions. *Food Research International*, **29**(1), 1-13.
- Thakur, R. K. Vial, C., Djelveh, G (2003). Influence of operating conditions and impeller design on the continuous manufacturing of food foams. *Journal of Food Engineering*, **60**, 9-20.
- Van Aken, G. (2001). Aeration of emulsions by whipping. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects.*, **190**, 333-354.
- Van Lent, K. Le, C. Vanlerberghr, B. Van der Meeren, P (2008). Effect of formulation on the emulsion and whipping properties of recombined cream. *International Dairy Journal*, **18**, 1003-1010.
- Vega, C. (2006). Diseño de microestructura en crema batida. *Mundo Lácteo y Cárnico*, **6**, 12-18.
- Walstra, P. (1989). Principles of foam formation and stability. In *Foams: Physics, Chemistry and Structure*, ed. A. J. Wilson, Germany, 3-15.
- Windhab, E. (1995) Rheology in food processing. In: *Physico-Chemical Aspects of Food Processing* (Beckett, S. ed), 80-91. Blackie Academic & Professional, United Kingdom.
- Zhao, Q., Zhao, M., Yang, B., Cui, C. (2009). Effect of xanthan gum on the physical properties and textural characteristics of whipped cream. *Food Chemistry*, **116**, 624-628

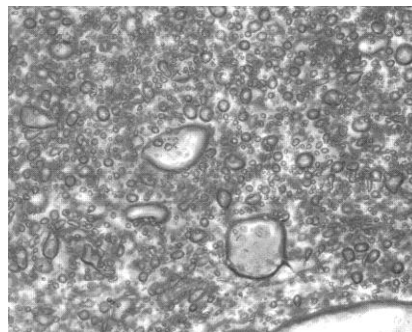


# APÉNDICES

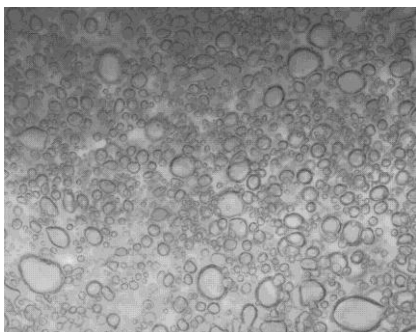
**Apéndice I: Tamaño de burbuja a través del tiempo de reposo de la crema AR batida por 7 minutos. La barra del lado inferior derecho en la fotografía de la hora cero equivale a 50µm**



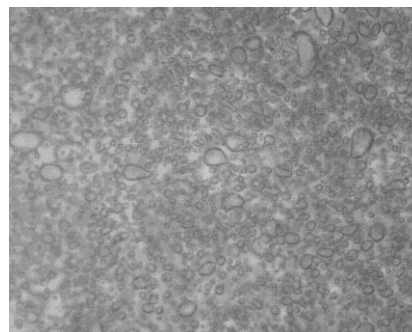
**Hora 0**



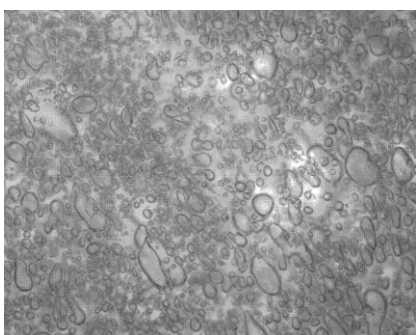
**Hora 1**



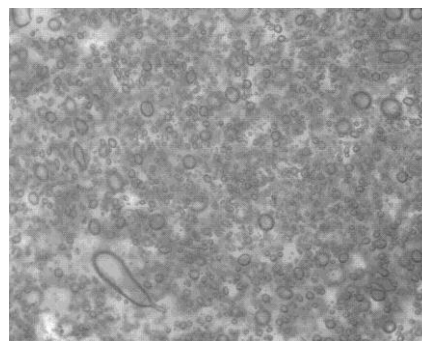
**Hora 2**



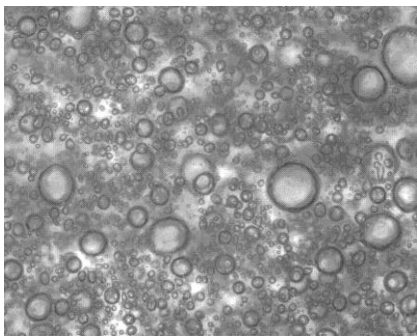
**Hora 3**



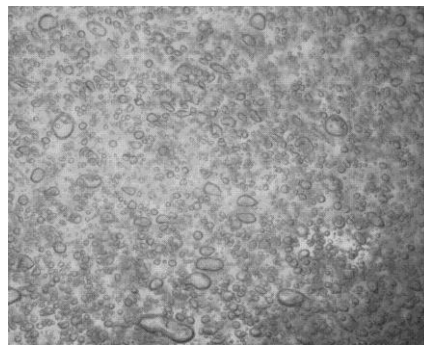
**Hora 4**



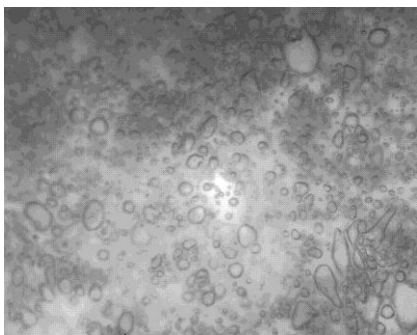
**Hora 5**



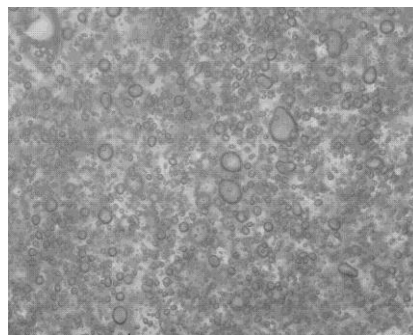
**Hora 6**



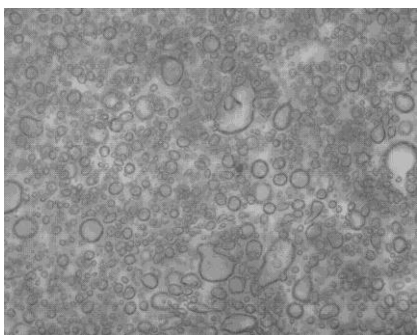
**Hora 7**



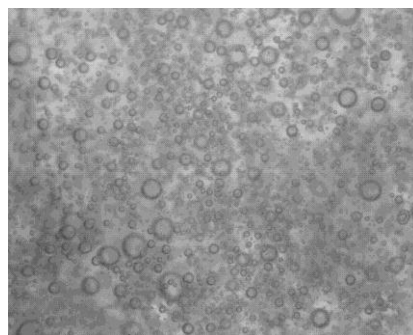
**Hora 8**



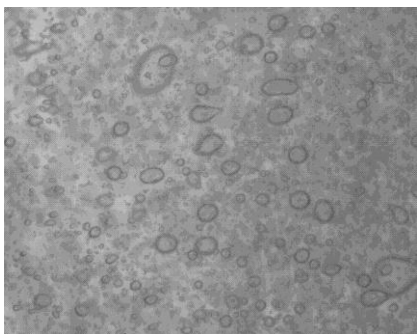
**Hora 9**



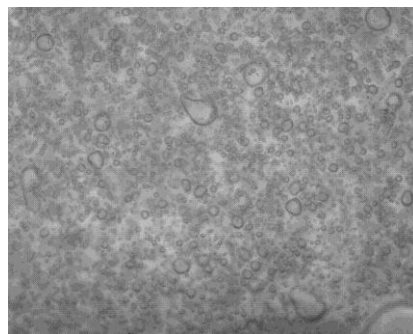
**Hora 10**



**Hora 11**

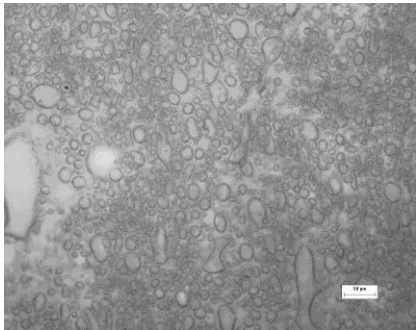


**Hora 12**

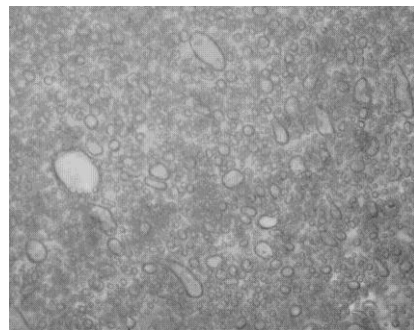


**Hora 24**

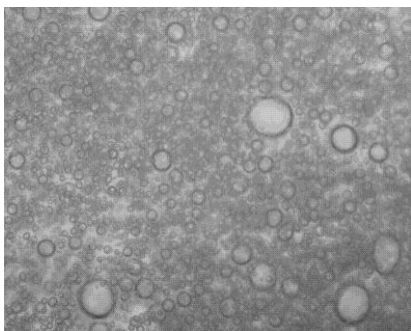
**Apéndice II: Tamaño de burbuja a través del tiempo de la crema AR batida por 8 minutos. La barra del lado inferior derecho en la fotografía de la hora cero equivale a 50µm**



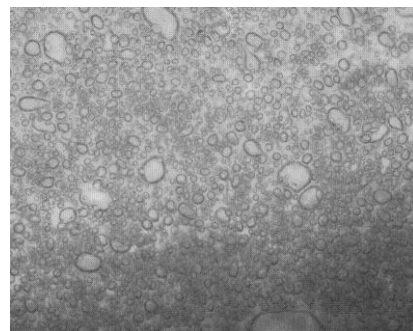
**Hora 0**



**Hora 1**



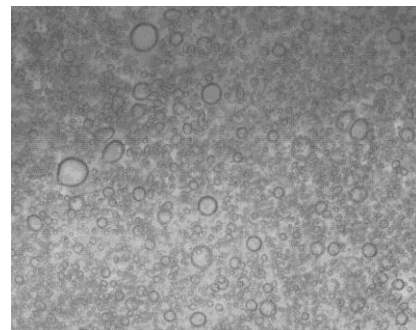
**Hora 2**



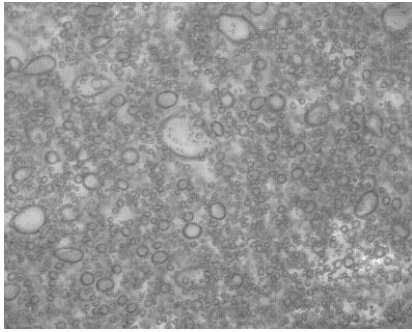
**Hora 3**



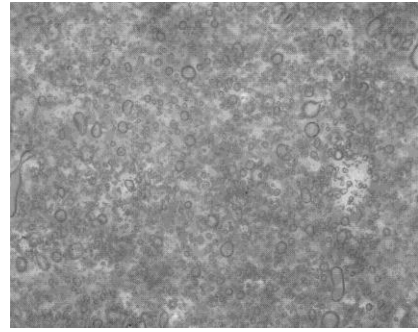
**Hora 4**



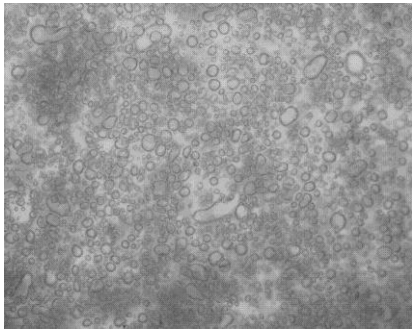
**Hora 5**



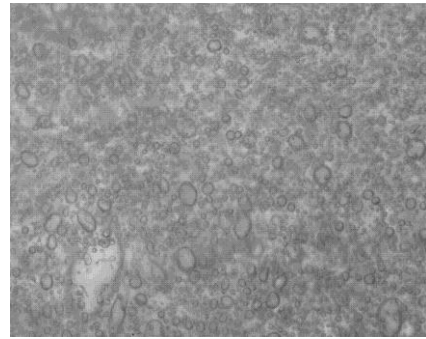
**Hora 6**



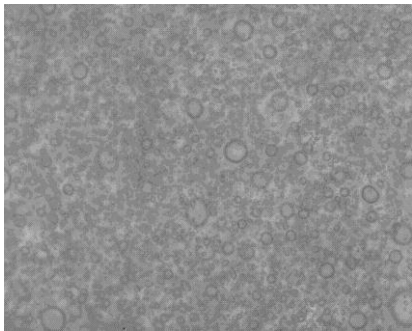
**Hora 7**



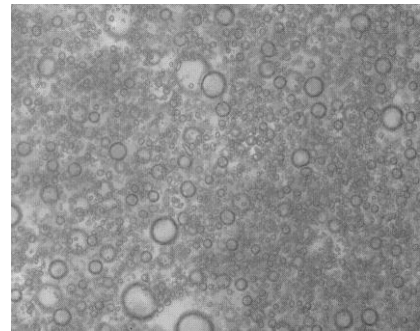
**Hora 8**



**Hora 9**



**Hora 10**



**Hora 11**

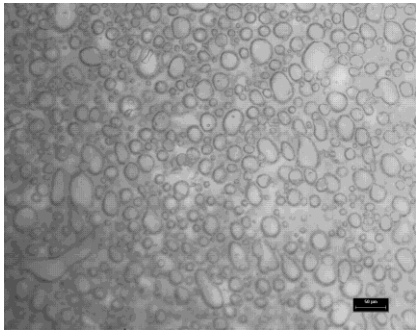


**Hora 12**

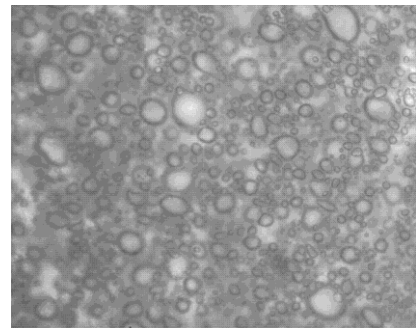


**Hora 24**

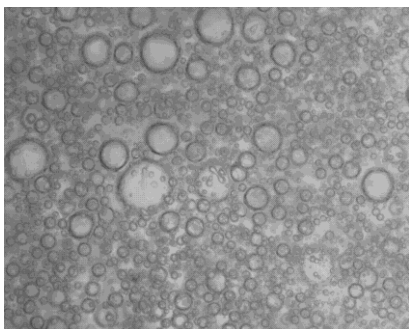
**Apéndice III: Tamaño de burbuja a través del tiempo de la crema AR batida por 9 minutos. La barra del lado inferior derecho en la fotografía de la hora cero equivale a 50µm**



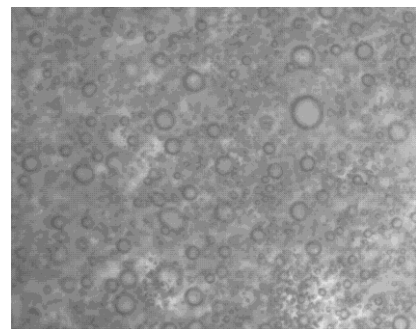
**Hora 0**



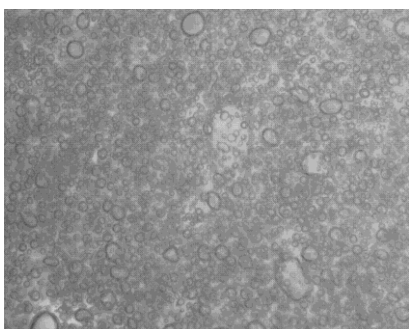
**Hora 1**



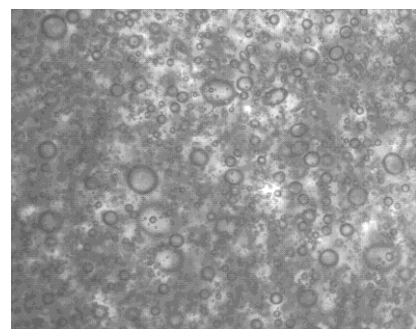
**Hora 2**



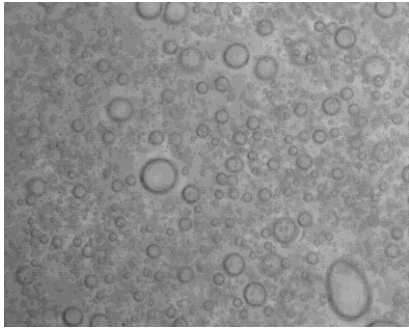
**Hora 3**



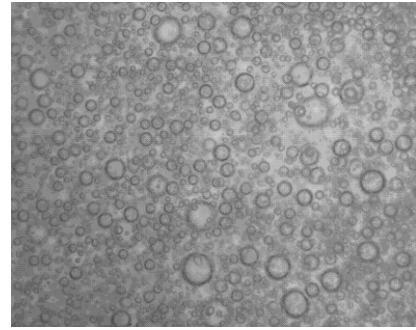
**Hora 4**



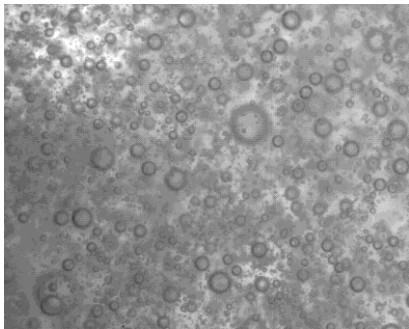
**Hora 5**



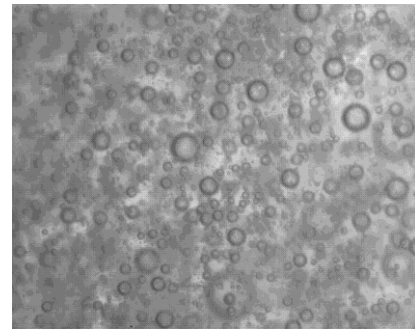
**Hora 6**



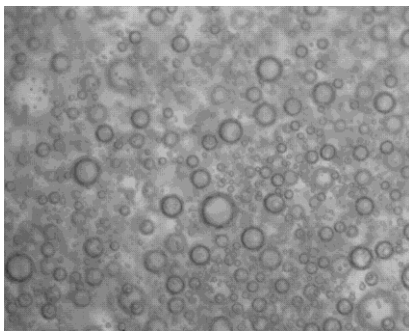
**Hora 7**



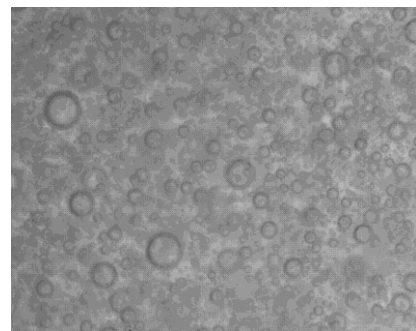
**Hora 8**



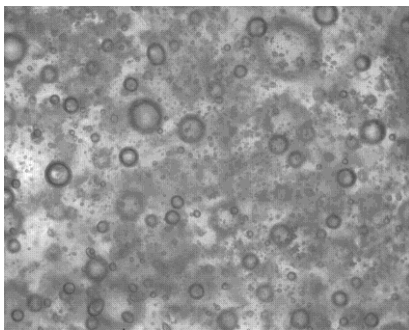
**Hora 9**



**Hora 10**

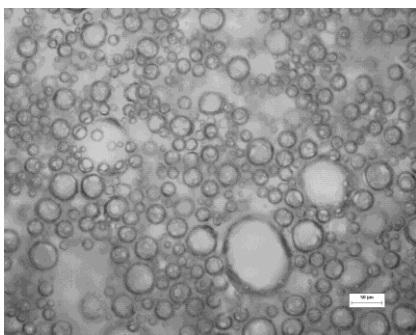


**Hora 11**

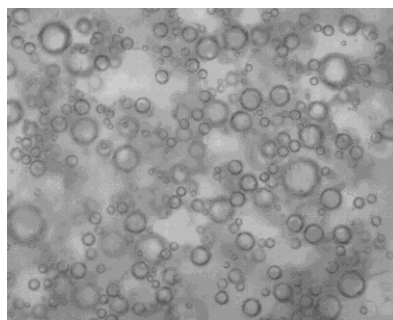


**Hora 12**

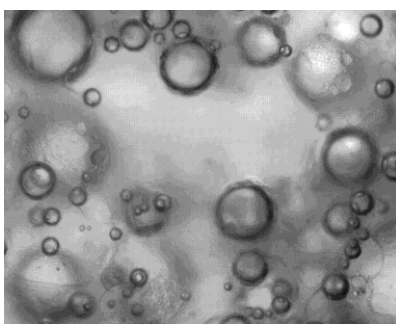
**Apéndice IV: Tamaño de burbuja a través del tiempo de la crema H3 batida por 7 minutos. La barra del lado inferior derecho en la fotografía de la hora cero equivale a 50µm**



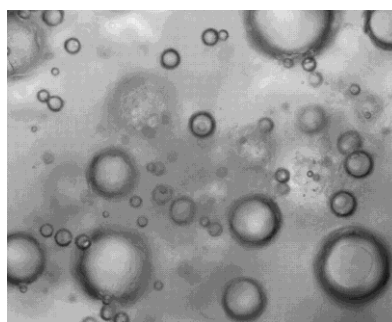
**Hora 1**



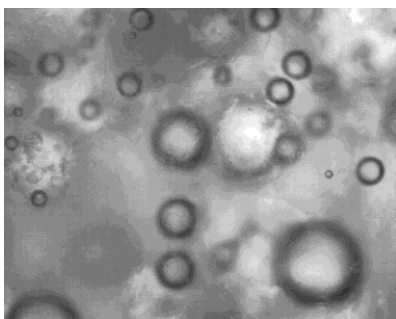
**Hora 2**



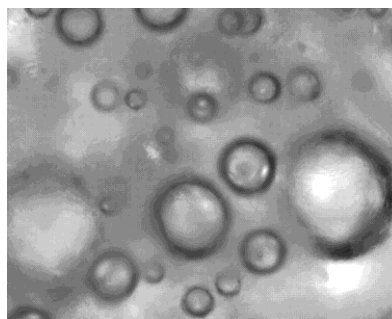
**Hora 3**



**Hora 4**

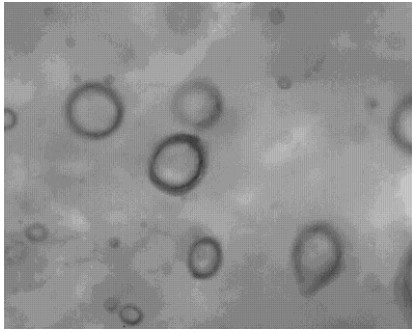


**Hora 5**

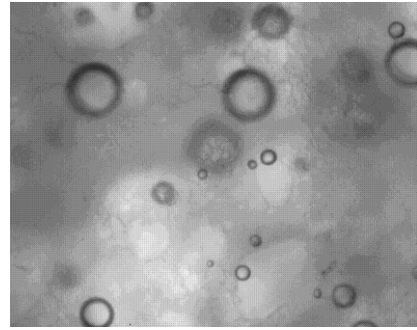


**Hora 6**

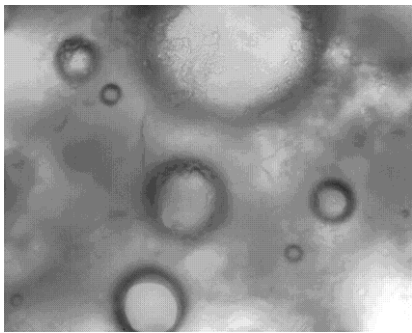




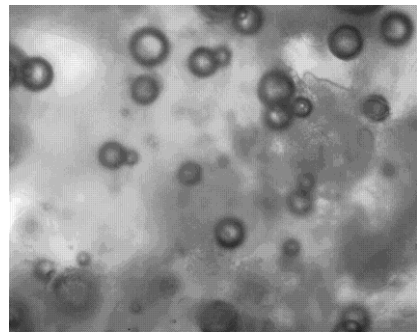
**Hora 9**



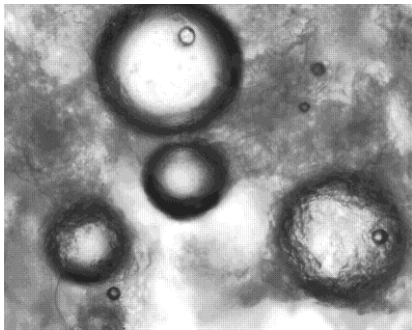
**Hora 10**



**Hora 11**

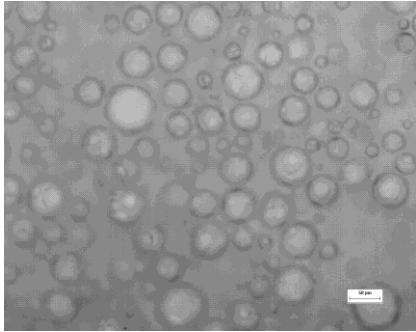


**Hora 12**

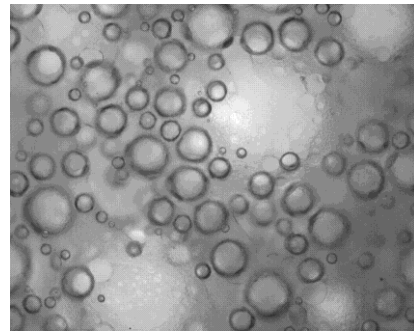


**Hora 25**

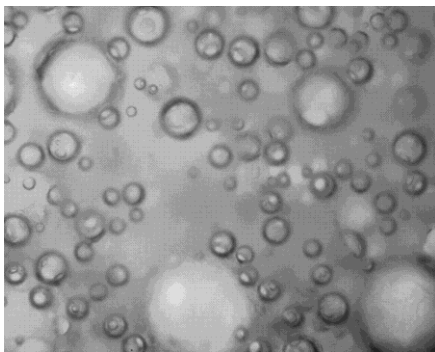
**Apéndice V: Tamaño de burbuja a través del tiempo de la crema H3 batida por 8 minutos. La barra del lado inferior derecho en la fotografía de la hora cero equivale a 50µm**



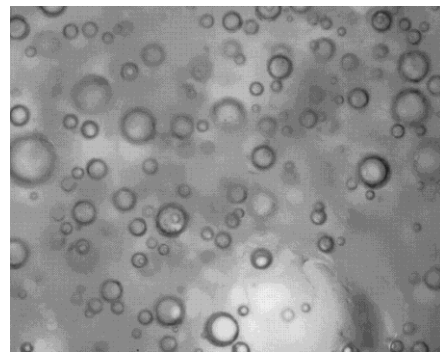
**Hora 1**



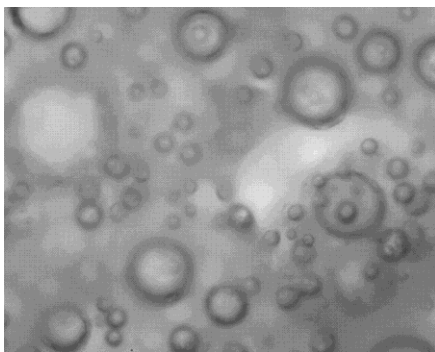
**Hora 2**



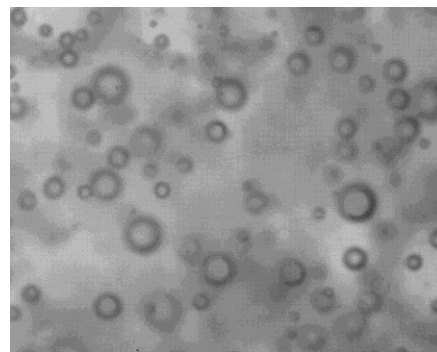
**Hora 3**



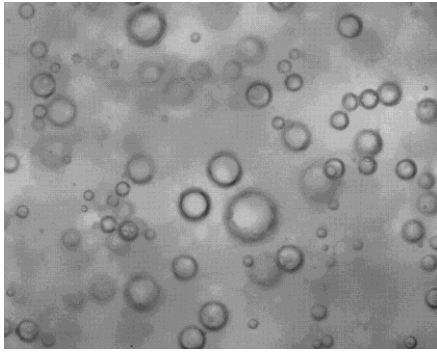
**Hora 4**



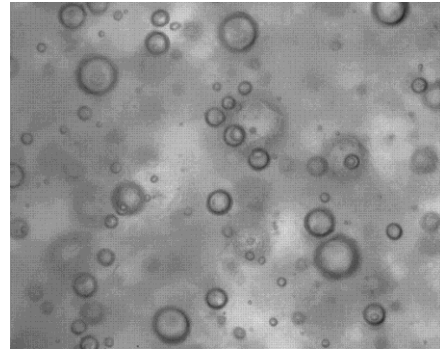
**Hora 5**



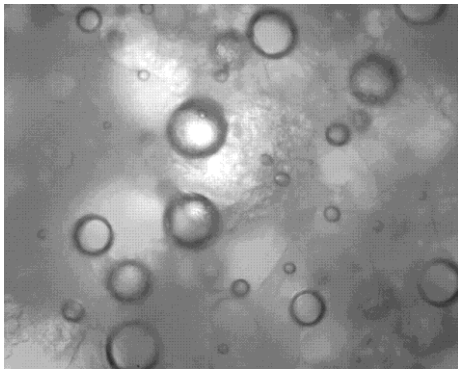
**Hora 6**



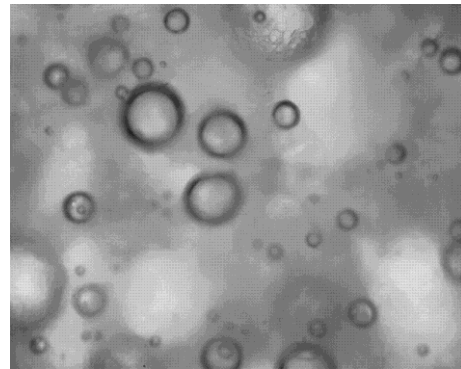
**Hora 7**



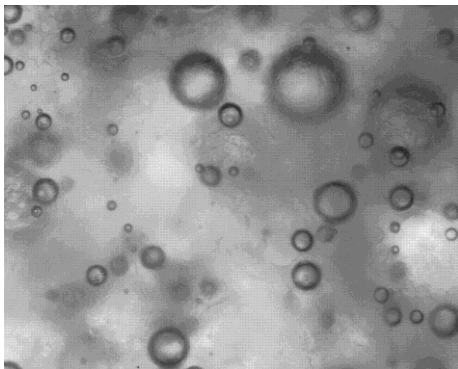
**Hora 8**



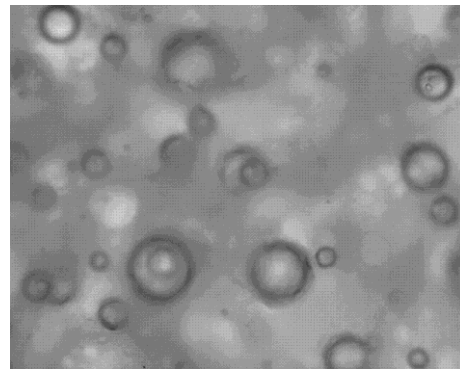
**Hora 9**



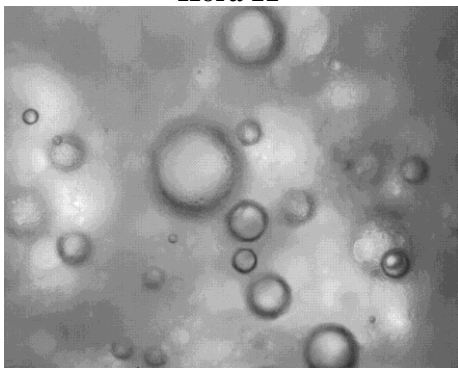
**Hora 10**



**Hora 11**

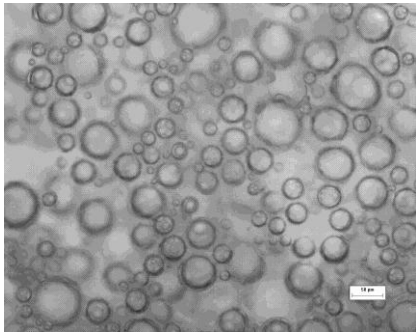


**Hora 12**

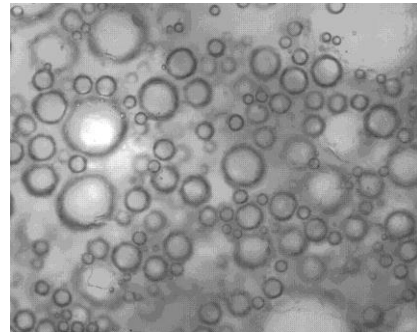


**Hora 25**

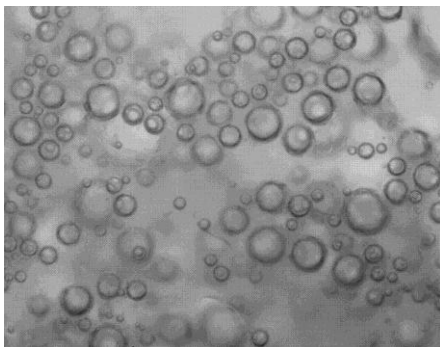
**Apéndice VI: Tamaño de burbuja a través del tiempo de la crema H3 batida por 9 minutos. La barra del lado inferior derecho en la fotografía de la hora cero equivale a 50µm**



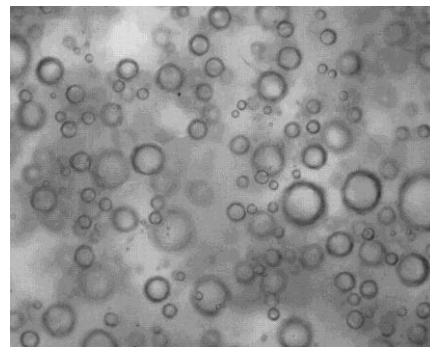
**Hora 0**



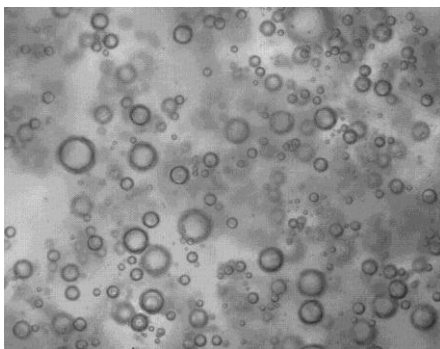
**Hora 1**



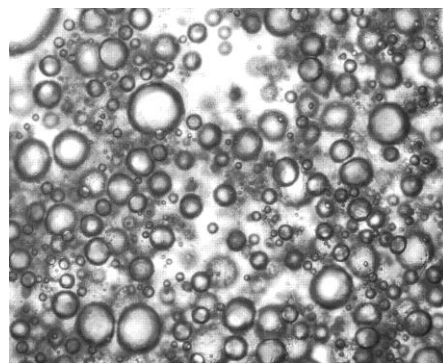
**Hora 2**



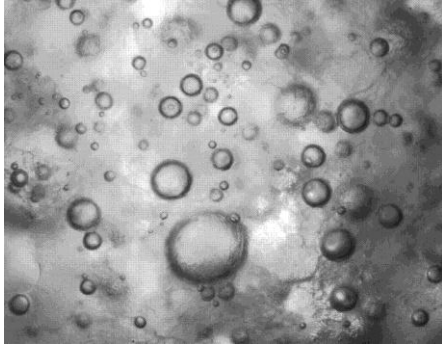
**Hora 3**



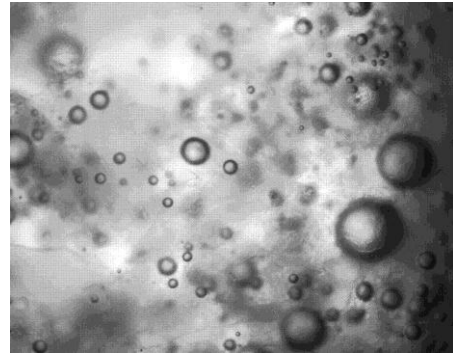
**Hora 4**



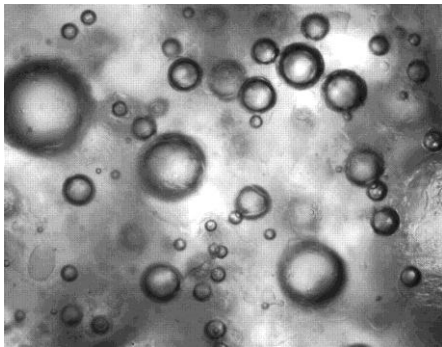
**Hora 5**



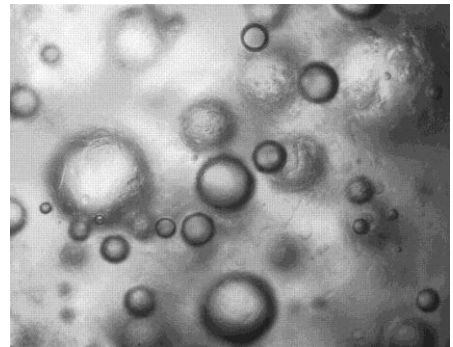
**Hora 6**



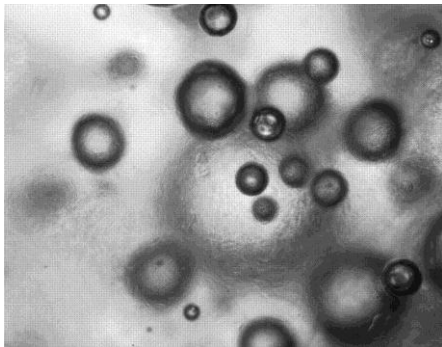
**Hora 7**



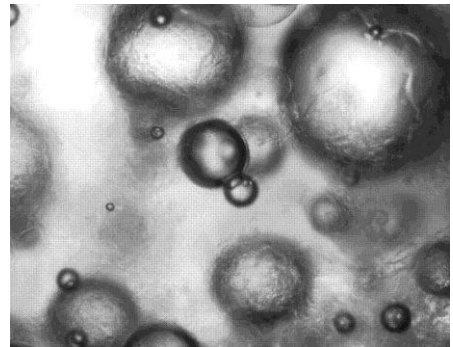
**Hora 8**



**Hora 10**

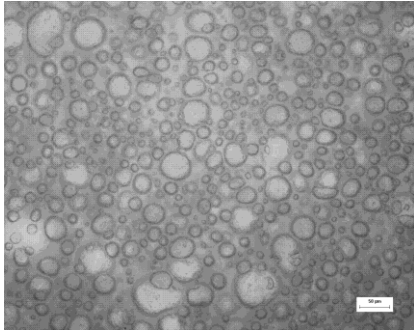


**Hora 11**

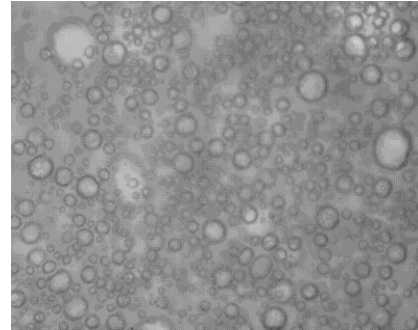


**Hora 12**

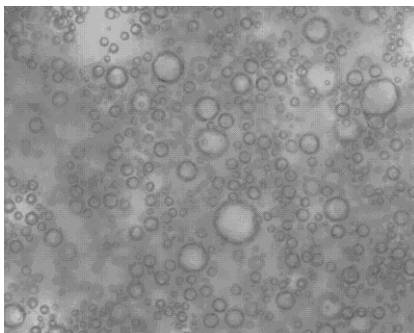
**Apéndice VII: Tamaño de burbuja a través del tiempo de la crema LC batida por 7 minutos. La barra del lado inferior derecho en la fotografía de la hora cero equivale a 50µm**



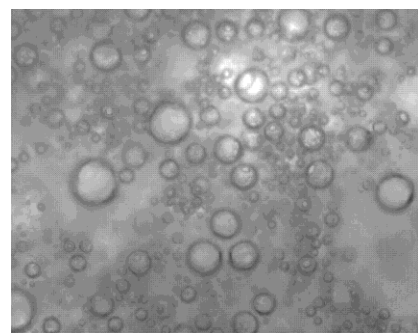
**Hora 0**



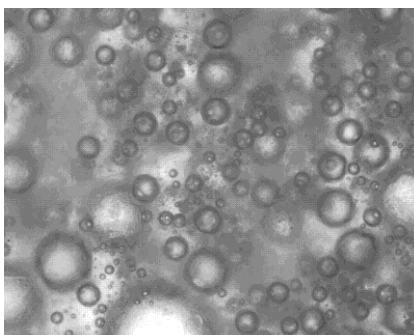
**Hora 1**



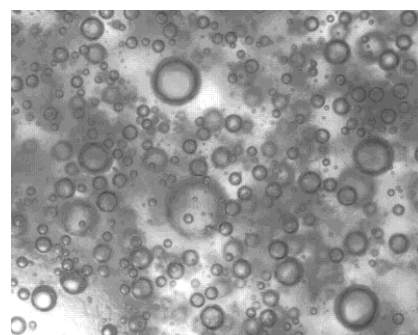
**Hora 2**



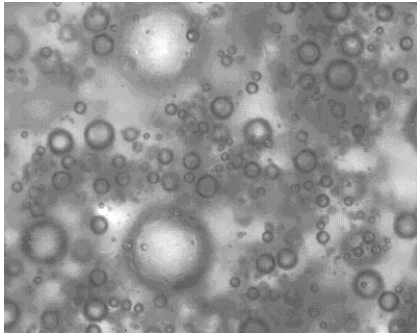
**Hora 3**



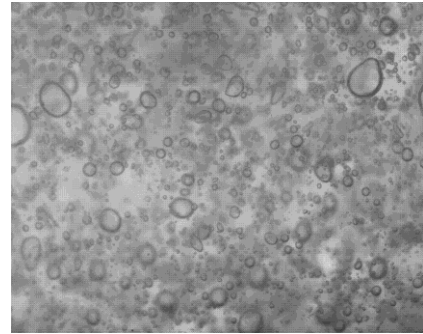
**Hora 4**



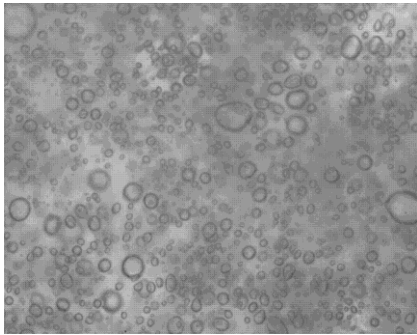
**Hora 5**



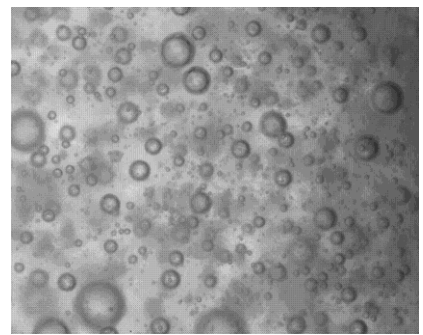
**Hora 6**



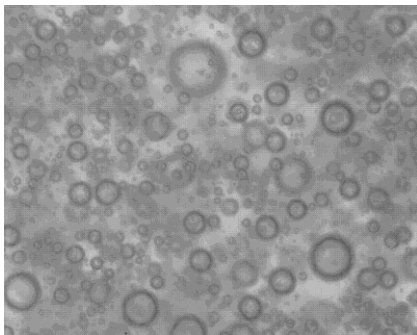
**Hora 7**



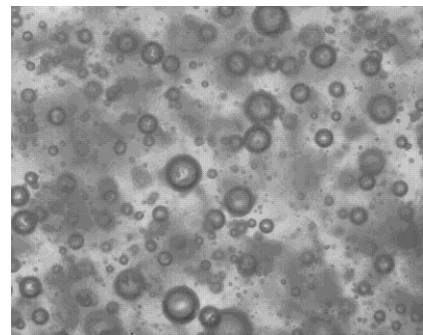
**Hora 8**



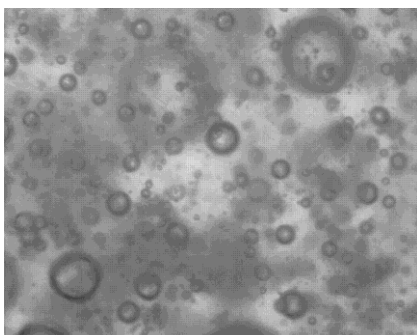
**Hora 9**



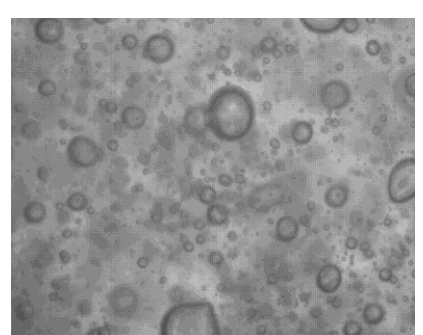
**Hora 10**



**Hora 11**

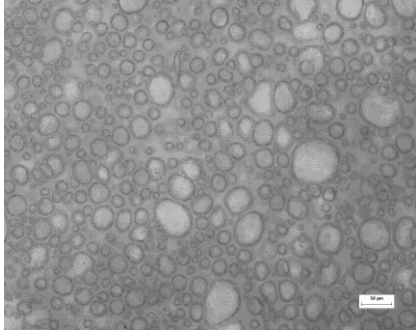


**Hora 12**

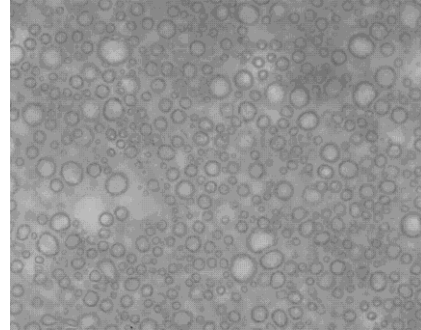


**Hora 24**

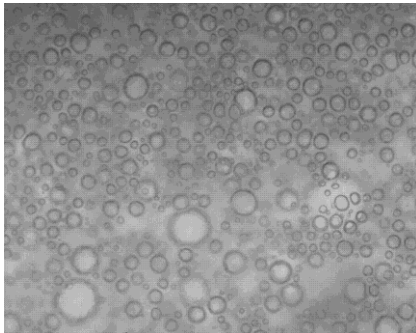
**Apéndice VIII: Tamaño de burbuja a través del tiempo de la crema LC batida por 8 minutos. La barra del lado inferior derecho en la fotografía de la hora cero equivale a 50µm**



**Hora 0**



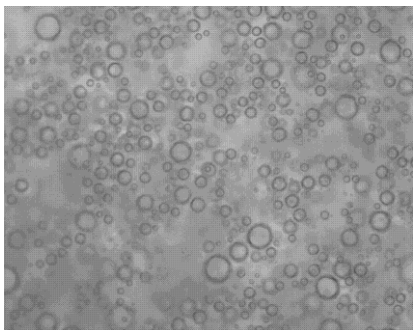
**Hora 1**



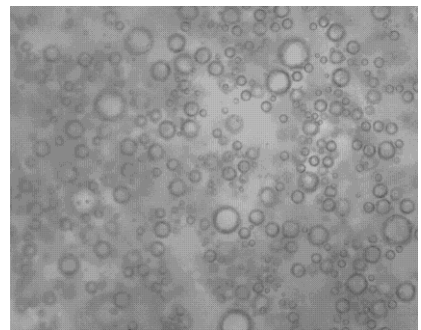
**Hora 2**



**Hora 3**

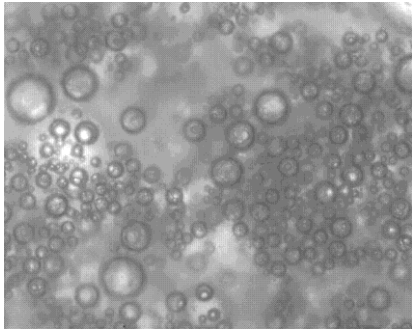


**Hora 4**

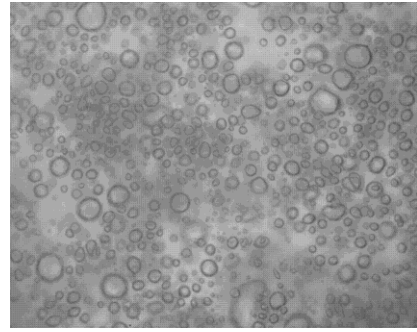


**Hora 5**

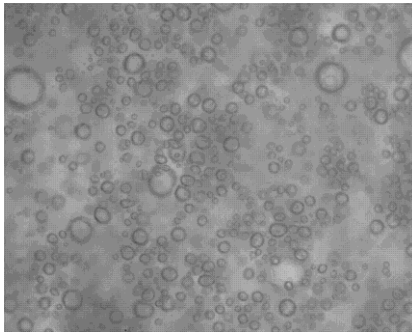




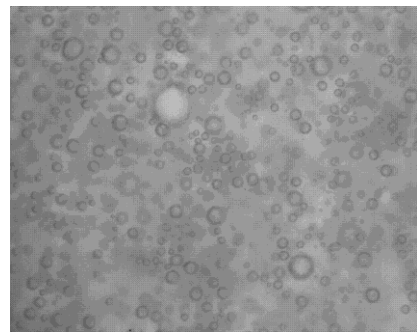
**Hora 6**



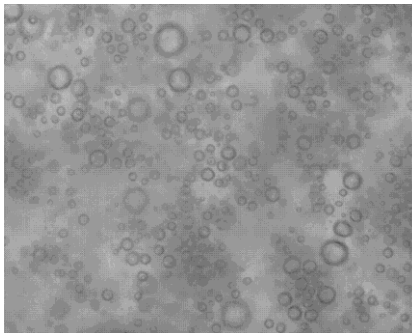
**Hora 7**



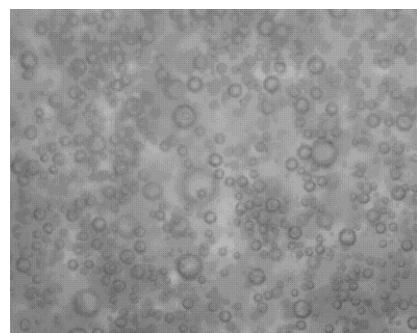
**Hora 8**



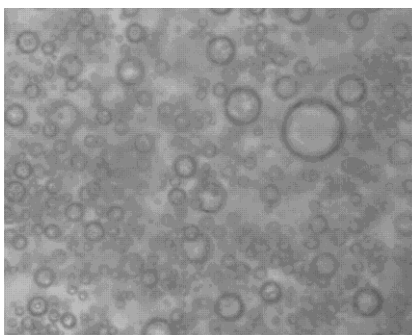
**Hora 9**



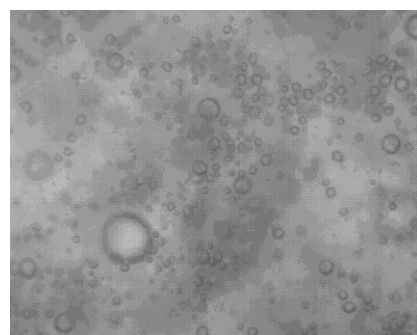
**Hora 10**



**Hora 11**

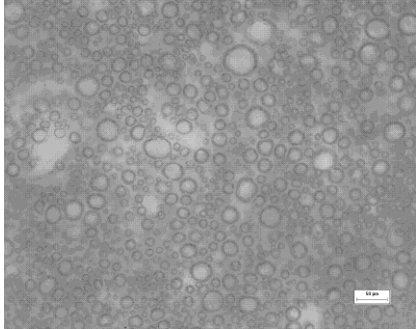


**Hora 12**

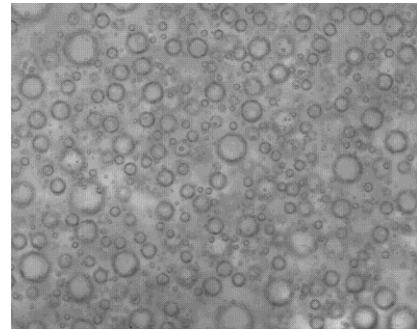


**Hora 24**

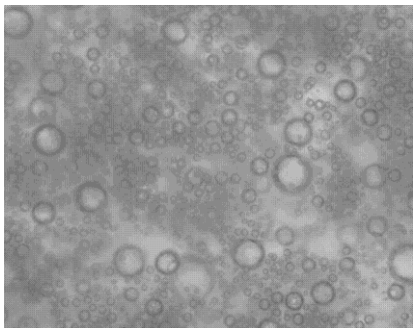
**Apéndice IX: Tamaño de burbuja a través del tiempo de la crema LC batida por 9 minutos. La barra del lado inferior derecho en la fotografía de la hora cero equivale a 50µm**



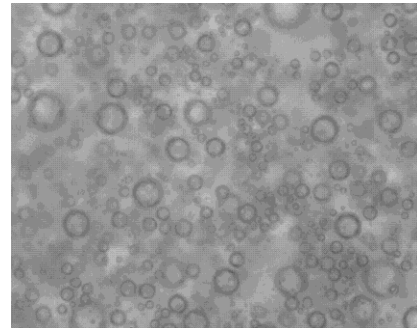
**Hora 0**



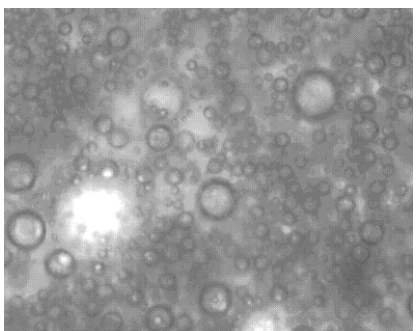
**Hora 1**



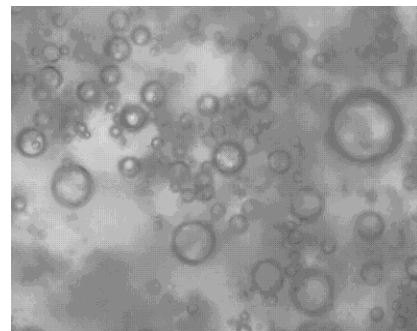
**Hora 2**



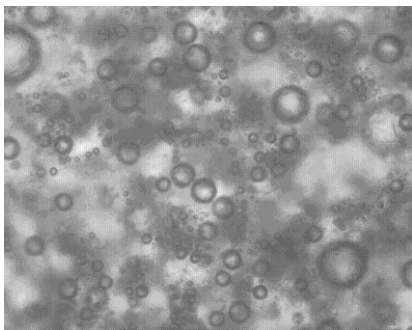
**Hora 3**



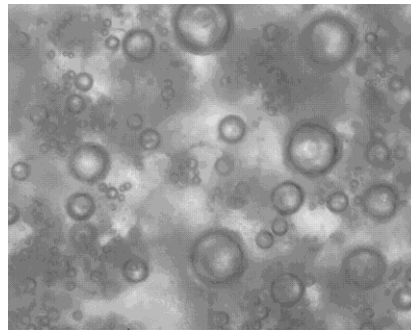
**Hora 4**



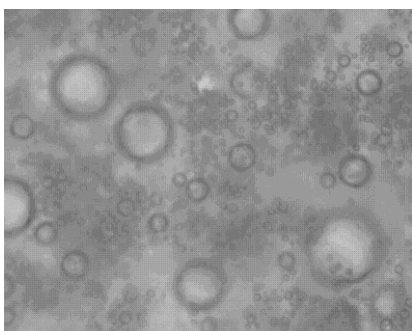
**Hora 5**



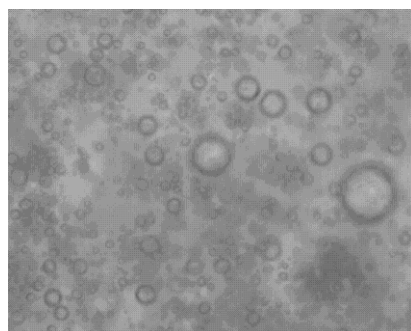
**Hora 6**



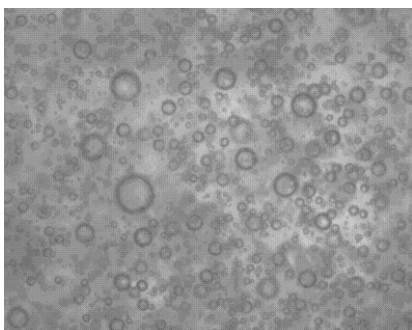
**Hora 7**



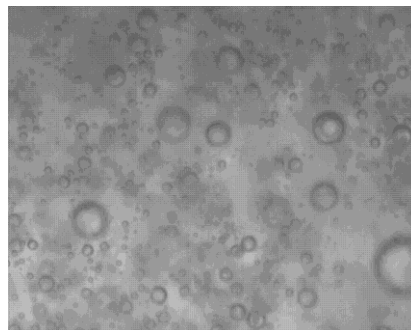
**Hora 8**



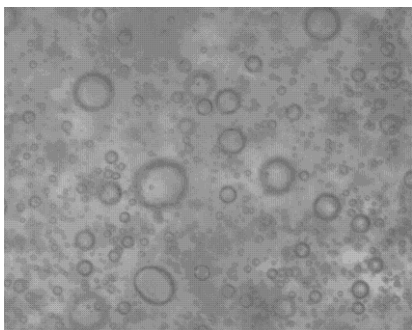
**Hora 9**



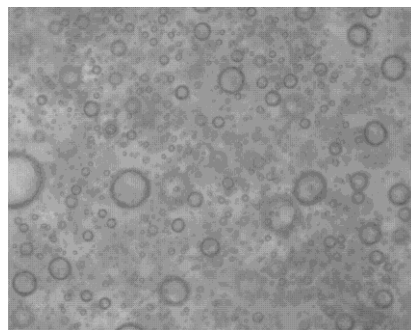
**Hora 10**



**Hora 11**



**Hora 12**



**Hora 24**