



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**EFFECTO DE LOS CICLOS DE FLUCTUACIÓN DE TEMPERATURA
SOBRE LA REOLOGÍA Y TEXTURA DE TRES TIPOS DE CREMAS
COMERCIALES.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

SABINO LARA LUZ ARELI

ASESORAS:

IBQ. NORMA BEATRÍZ CASAS ALENCÁSTER

IA. MIRIAM EDITH FUENTES ROMERO

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2013.



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 CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

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

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Efecto de los ciclos de fluctuación de temperatura sobre la reología y textura de tres tipos de cremas comerciales

Que presenta la pasante: Luz Areli Sabino Lara
Con número de cuenta: 408090687 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de febrero de 2013.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>IBQ. Norma Beatriz Casas Alencáster</u>	<u>Norma Casas Alencáster</u>
VOCAL	<u>Dra. María Guadalupe Sosa Herrera</u>	<u>Maria Guadalupe Sosa Herrera</u>
SECRETARIO	<u>Dra. Virginia Agustina Delgado Reyes</u>	<u>Virginia Delgado Reyes</u>
1er. SUPLENTE	<u>IA. Fátima Abigail Galván Ballesteros</u>	<u>Fátima Abigail Galván Ballesteros</u>
2do. SUPLENTE	<u>IA. Maritza Rocandio Pineda</u>	<u>Maritza R.</u>

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

HHA/pm

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A Dios, por protegerme y acompañarme todos los días. A mis padres Pedro y Mary, porque creyeron en mí y me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación. Gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada mi meta porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo llegar hasta el final. Admiro su fortaleza y gracias a ellos soy lo que soy.

A mi hermano Rodrigo porque siempre quise darle un buen ejemplo.

A mis abuelitos Porfirio y Gregoria que siempre han estado a mi lado.

A mi abuelito Benito Lara que aunque ya no está con nosotros sé que siempre estuvo orgulloso de mí.

A Álvaro por apoyarme durante todo el camino y compartir conmigo alegrías y fracasos.

A mis amigas por los grandes momentos en el transcurso de la carrera.

A mis asesoras Norma Casas y Edith Fuentes por su valioso apoyo, dedicación y paciencia.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”. Thomas Chalmers.

ÍNDICE

	Página
Resumen	
Introducción	
Capítulo I. Antecedentes	1
1.1 Crema	1
1.1.1 Definición	1
1.1.2 Clasificación	1
a) De acuerdo a su proceso	1
b) De acuerdo a su contenido de grasa	1
1.2 Lípidos	3
1.2.1 Definición	3
1.2.2 Clasificación	3
1.2.3 Factores que influyen en la consistencia de las grasas comerciales	5
1.2.4 Cristalización de la grasa	5
1.2.5 Plasticidad de la grasa	7
1.2.6 Grasa láctea: composición	8
1.3 Emulsiones	10
1.4 Inestabilidad de las emulsiones	11
1.4.1 Cremado / sedimentación	12
1.4.2 Floculación	13
1.4.3 Engrosamiento de gotas	13
1.4.4 Coalescencia	14
a) Coalescencia parcial y temperado en emulsiones	14
b) Mecanismos de inducción de coalescencia parcial	14
c) Estudios de coalescencia y temperado en emulsiones	17
1.5 Estabilidad de las emulsiones	19
1.5.1 Estabilización por sólidos finamente divididos	19
1.5.2 Estabilización por macromoléculas	19
1.5.3 Estabilización mediante cristales líquidos	19
1.5.4 Estabilización por aumento de la viscosidad de la fase continua	20

1.6 Emulsificantes	20
1.6.1 Tipos de emulsificantes	23
1.6.2 Emulsificantes de bajo peso molecular	23
1.6.3 Emulsificantes macromoleculares: proteínas	24
1.7 Estabilizantes (polisacáridos)	30
1.7.1 Gomas	30
1.8 Textura	34
1.8.1 Definición	34
1.8.2 Tipos de pruebas instrumentales de textura	35
1.8.3 Tipos de pruebas que se pueden efectuar en un texturómetro	36
1.8.4 Prueba de adhesividad por penetración y retirada	37
1.9 Reología	38
1.9.1 Clasificación del comportamiento reológico	38
1.9.2 Viscoelasticidad	39
a) Viscoelasticidad lineal	39
1.9.3 Métodos experimentales de medida	40
a) Métodos estáticos	40
b) Pruebas dinámicas	41
1.9.4 Determinación de la zona de viscoelasticidad lineal	44
1.9.5 Instrumentos de medida	48
Capítulo II. Metodología de la investigación	50
2.1 Objetivos	50
2.1.1 Objetivo general	50
2.1.2 Objetivos particulares	50
2.2 Materiales	50
2.2.1 Crema para batir Lyncott	51
2.2.2 Media crema Lala	51
2.2.3 Crema natural	52
2.2.4 Dodecil sulfato de sodio	52
2.3 Actividad preliminar	53
2.4 Métodos	53

2.4.1	Temperado	53
2.4.2	Prueba de reología bajo cizalla oscilatoria	54
2.4.3	Prueba de adhesividad por penetración y retirada	56
2.4.4	Prueba de distribución de tamaño de partícula	57
2.5	Análisis estadístico	59
Capítulo III. Resultados y discusión		60
3.1	Actividad preliminar	60
3.2	Objetivo particular 1	65
3.2.1	Pruebas reológicas antes y después del temperado a 25 °C	66
a)	Crema natural temperada a 25 °C	66
b)	Crema para batir Lyncott temperada a 25 °C	68
c)	Media crema Lala temperada a 25 °C	70
3.2.2	Tamaño de partícula antes y después del temperado a 25 °C	73
a)	Crema natural temperada a 25 °C	73
b)	Crema para batir Lyncott temperada a 25 °C	75
c)	Media crema Lala temperada a 25 °C	76
3.2.3	Prueba textural antes y después del temperado a 25 °C	78
a)	Crema para batir Lyncott temperada a 25 °C	78
b)	Media crema Lala temperada a 25 °C	80
3.3	Objetivo particular 2	81
3.3.1	Pruebas reológicas antes y después del temperado a 12 °C	81
a)	Crema natural temperada a 12 °C	81
b)	Crema para batir Lyncott temperada a 12 °C	83
c)	Media crema Lala temperada a 12 °C	85
3.3.2	Tamaño de partícula antes y después del temperado a 12 °C	87
a)	Crema natural temperada a 12 °C	87
b)	Crema para batir Lyncott temperada a 12 °C	88
c)	Media crema Lala temperada a 12 °C	90
3.3.3	Prueba textural antes y después del temperado a 12 °C	92
a)	Crema para batir Lyncott temperada a 12 °C	92
b)	Media crema Lala temperada a 12 °C	93

3.4 Análisis estadístico	95
3.4.1 Parámetros reológicos	96
a) Módulo elástico (G')	96
b) Módulo viscoso (G'')	98
3.4.2 Tamaño de partícula	100
3.4.3 Parámetros texturales	102
a) Dureza	102
b) Fuerza adhesiva	104
c) Adhesividad	106
d) Estiramiento	108
Conclusiones	111
Bibliografía	114
Apéndice 1. Cuadros de coeficientes de variación	

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Capítulo I. Antecedentes	
Cuadro 1.1 Clasificación de los acilgliceroles.	4
Cuadro 1.2 Composición de la grasa láctea.	9
Cuadro 1.3 Contenido de ácidos grasos en la grasa de la leche.	9
Capítulo II. Metodología de la investigación	
Cuadro 2.1 Cuadro comparativo de la información nutrimental de la crema para batir Lyncott y la media crema Lala.	52
Capítulo III. Resultados y discusión	
Cuadro 3.1 Tamaño de partícula para la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40 °C con varias horas de almacenamiento.	64
Cuadro 3.2 Parámetros texturales de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40 °C.	65
Cuadro 3.3 Tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C.	75
Cuadro 3.4. Tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C.	76
Cuadro 3.5. Tamaño de partícula de la media crema Lala antes y después del temperado a 25 °C.	77
Cuadro 3.6. Parámetros texturales de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C.	79
Cuadro 3.7. Parámetros texturales de la media crema Lala antes y después del temperado a 25 °C.	81
Cuadro 3.8. Tamaño de partícula de la crema natural antes y después del temperado a 12 °C.	88
Cuadro 3.9. Tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 12 °C.	90
Cuadro 3.10. Tamaño de partícula de la media crema Lala antes y después del temperado a 12 °C.	91
Cuadro 3.11. Parámetros texturales de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 12 °C.	93

Cuadro 3.12. Parámetros texturales de la media crema Lala antes y después del temperado a 12 °C.	94
Cuadro 3.13. Prueba de Tuckey para el módulo elástico.	97
Cuadro 3.14. Prueba de Tuckey para el módulo viscoso.	99
Cuadro 3.15. Prueba de Tuckey para el tamaño de partícula.	101
Cuadro 3.16. Prueba de Tuckey para la dureza.	103
Cuadro 3.17. Prueba de Tuckey para la fuerza adhesiva.	105
Cuadro 3.18. Prueba de Tuckey para la adhesividad.	107
Cuadro 3.19. Prueba de Tuckey para el estiramiento.	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I. Antecedentes	Pág.
Figura 1.1 Cristales de triglicérido β (1), β' (2) y α (3).	7
Figura 1.2 Perfil de sólidos grasos con respecto a la temperatura para diferentes fuentes de grasa comúnmente utilizadas en la manufactura de helados y cremas batidas.	8
Figura 1.3 Tipos de emulsiones.	11
Figura 1.4 Mecanismos que contribuyen a la inestabilidad de las emulsiones.	12
Figura 1.5 Coalescencia parcial de las gotitas de aceite parcialmente cristalizadas.	15
Figura 1.6 Proceso de coalescencia parcial.	16
Figura 1.7 Estructura típica de una molécula de agente tensoactivo.	20
Figura.1.8 Orientación del agente emulsificante de bajo peso molecular en una emulsión de aceite en agua.	21
Figura 1.9 Fuerzas que actúan sobre las moléculas en el interior y sobre la superficie de un líquido.	22
Figura 1.10 Niveles de estructura de las proteínas.	25
Figura 1.11 Representación esquemática de la desnaturalización de una proteína.	26
Figura 1.12 Distintas configuraciones de un polipéptido flexible en la interfase.	29
Figura 1.13 Clasificación de las propiedades mecánicas en relación con la reología	

y textura.	36
Figura 1.14 Variables involucradas en la evaluación del comportamiento mecánico.	39
Figura 1.15 Curvas de una prueba oscilatoria en diferentes materiales en una prueba oscilatoria.	42
Figura 1.16 Barrido de esfuerzo o deformación.	44
Figura 1.17 Materiales viscoelásticos: barrido de esfuerzo o deformación	45
Figura 1.18 Barrido de frecuencia.	45
Figura 1.19 Espectro mecánico de una sustancia de bajo peso molecular.	46
Figura 1.20 Espectro mecánico de sustancias de alto peso molecular.	47
Figura 1.21 Espectro mecánico de sustancias con redes entrecruzadas.	47
Figura 1.22 Geometría doble cilindro y cono y placa.	49
Capítulo II. Metodología de la investigación	
Figura 2.1 Crema para batir Lyncott.	51
Figura 2.2. Media crema Lala.	51
Figura 2.3. Perfil de temperatura para las tres cremas comerciales.	53
Figura 2.4. Barrido de esfuerzo.	54
Figura 2.5 Barrido de frecuencia.	55
Figura 2.6 Prueba de adhesividad por penetración y retirada.	56
Figura 2.7 Curva de penetración y retirada.	57
Figura 2.8 Curva de distribución de tamaño y porcentaje acumulado.	58
Capítulo III. Resultados y discusión	
Figura 3.1. Barridos de frecuencia de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40 °C.	60
Figura 3.2. Barridos de frecuencia de la crema para batir Lyncott después del temperado a 40 °C con varios días en almacenamiento.	61
Figura 3.3. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Crema para batir Lyncott durante el temperado a 40 °C (a frecuencia de 1 Hz).	62
Figura 3.4. Curva de distribución de tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40 °C.	63
Figura 3.5. Curva de penetración y retirada de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40 °C.	64

Figura 3.6. Barridos de frecuencia de la crema natural antes y después del temperado a 25 °C.	67
Figura 3.7. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Crema natural durante el temperado a 25 °C.	67
Figura 3.8. Barrido de esfuerzo de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C.	68
Figura 3.9. Barrido de frecuencia de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C.	69
Figura 3.10. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Crema para batir Lyncott durante el temperado a 25 °C.	70
Figura 3.11. Barrido de frecuencia de la media crema Lala antes y después del temperado a 25 °C.	71
Figura 3.12. Barridos de frecuencia de la media crema Lala antes del temperado a 25 °C y con dos días de almacenamiento.	71
Figura 3.13. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Media crema Lala durante el temperado a 25 °C.	73
Figura 3.14. Curva de distribución de tamaño de partícula de la crema natural antes y después del temperado a 25 °C.	74
Figura 3.15. Curva de distribución de tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C.	76
Figura 3.16. Curva de distribución de tamaño de partícula de la media crema Lala antes y después del temperado a 25 °C.	78
Figura 3.17. Curva de penetración y retirada de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C.	79
Figura 3.18. Curva de penetración y retirada de la media crema Lala antes y después del temperado a 25 °C.	80
Figura 3.19. Barridos de frecuencia para la crema natural antes y después del temperado a 12 °C.	82
Figura 3.20. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Crema natural durante el temperado a 12 °C.	82
Figura 3.21. Barridos de frecuencia de la crema para batir Lyncott antes y después	

del temperado a 12 °C.	84
Figura 3.22. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Crema para batir Lyncott durante el temperado a 12 °C.	84
Figura 3.23. Barridos de frecuencia para la media crema Lala antes y después del temperado a 12 °C.	85
Figura 3.24. Gráfico de los módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Media crema Lala durante el temperado a 12 °C.	86
Figura 3.25. Curva de distribución de tamaño de partícula de la crema natural antes y después del temperado a 12 °C.	88
Figura 3.26. Curva de distribución de tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 12 °C.	89
Figura 3.27. Curva de distribución del tamaño de partícula de la media crema Lala antes y después del temperado a 12 °C.	91
Figura 3.28. Curva de penetración y retirada de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 12 °C.	92
Figura 3.29. Curva de penetración y retirada de la media crema Lala antes y después del temperado a 12 °C.	94
Figura 3.30 Efectos principales para el módulo elástico (G').	96
Figura 3.31 Interacción para el módulo elástico (G').	98
Figura 3.32 Efectos principales para el módulo viscoso (G'').	99
Figura 3.33 Interacción para el módulo viscoso (G'').	100
Figura 3.34 Efectos principales para el tamaño de partícula.	101
Figura 3.35 Interacción para el tamaño de partícula.	102
Figura 3.36 Efectos principales para la dureza.	103
Figura 3.37 Interacción para la dureza.	104
Figura 3.38 Efectos principales para la fuerza adhesiva.	105
Figura 3.39 Interacción para la fuerza adhesiva.	106
Figura 3.40 Efectos principales para la adhesividad.	107
Figura 3.41 Interacción para la adhesividad.	108
Figura 3.42 Efectos principales para el estiramiento.	109
Figura 3.43 Interacción para el estiramiento.	110

RESUMEN

En este proyecto se estudió el efecto de los ciclos de calentamiento y enfriamiento (temperado) en los parámetros reológicos, texturales y tamaño de partícula de tres tipos de cremas lácteas comerciales. Las cremas evaluadas contienen: 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes, 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes y 30% de grasa sin emulsificantes ni estabilizantes. Los ciclos de temperado consistieron en un calentamiento a 12 y 25 °C durante 30 minutos, seguido de un enfriamiento a temperatura de refrigeración ($7\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$) por 48 horas. A las cremas antes y después del temperado se les realizaron las siguientes pruebas: prueba de adhesividad por penetración y retirada, tamaño de partícula, barridos de esfuerzo y barridos de frecuencia. En los ensayos realizados sobre la crema que contiene 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes se observó un mayor aumento en los parámetros texturales, módulo elástico (G'), módulo viscoso (G'') y tamaño de partícula después del temperado a 25 °C, comparado con las otras dos cremas y con el temperado a 12 °C. Se obtuvo un mayor tamaño de partícula con el temperado a 25 °C, y se debe a que al ser la temperatura más alta estudiada, los glóbulos de grasa se fusionaron en mayor proporción, permitiendo que se formaran más agregados de grasa parcialmente coalescida. La crema con 30% de grasa sin emulsificantes ni estabilizantes presentó un comportamiento no definido aunque aumentaron los parámetros reológicos y texturales, la consistencia de ésta, contrario a las otras cremas, era muy líquida después del temperado y almacenamiento. Se realizó un ensayo en crema con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes con calentamiento a 40 °C, la cual no mostró cambios considerables apreciables visualmente en su consistencia, tamaño de partícula y módulos elásticos (G') y viscoso (G'') debido a la fusión casi total de la grasa.

INTRODUCCIÓN

Las cremas son emulsiones de tipo aceite en agua termodinámicamente inestables (Márquez y col., 2005a, Aranberri, 2006) y por su carácter perecedero se almacenan a temperatura de refrigeración. Durante el uso de la crema como ingrediente o durante su transporte o almacenamiento puede verse sometida a elevaciones temporales de temperatura y, al enfriarse nuevamente, su consistencia aumenta por arriba de la que tenía inicialmente. Este incremento de consistencia se atribuye al fenómeno de coalescencia parcial de los glóbulos de grasa y puede ser promovido en condiciones estáticas por enfriamiento – elevación de temperatura y re-enfriamiento, proceso conocido como temperado, o por medio de cizalla o agitación (cremas batidas). En condiciones estáticas, a la crema original después de enfriada, se le eleva la temperatura por abajo del punto de fusión de la grasa, lo que ocasiona que parte de ésta funda, aumentando el contacto entre glóbulos y luego se re-enfría y recristaliza formando una red de gotas parcialmente coalescidas lo que aumenta la consistencia.

La coalescencia puede ser total cuando las gotas están líquidas o parcial si las gotas contienen materia cristalina (Van Boekel, 1980). Este fenómeno ha sido estudiado en cremas lácteas y otras emulsiones por Boode y Walstra (1993), Boode y col. (1993), Leal-Calderón y col. (2007), Kiokas y Bot (2005), Davies y col. (2000) y Mutho y col. (2001), entre otros. La coalescencia parcial depende del tipo y cantidad de grasa y de otros ingredientes como los emulsificantes y estabilizantes de manera que la composición de la crema influye en la magnitud de este fenómeno. Estos cambios pueden ser indeseables o no, dependiendo de la aplicación que se le dé a las cremas. Ensayos realizados sobre emulsiones preparadas con leche de soya reconstituida, aceite de girasol refinado y grasa láctea de alto punto de fusión mostraron un aumento en los módulos elástico (G') y viscoso (G'') como consecuencia del temperado. Cuanto mayor es el contenido de grasa, se favorece el aumento en los parámetros reológicos por efecto del temperado y se ha estudiado por varios investigadores como una alternativa para incrementar la estabilidad en crema batida (Márquez y col., 2005b, Drelon y col., 2005). En México se comercializa una amplia variedad de cremas, que difieren en el porcentaje de grasa (20-40%), tipo de grasa (láctea, vegetal, mixtas), además de que la mayoría contiene emulsificantes y estabilizantes

(goma guar, goma xantana, goma de algarrobo, carboximetilcelulosa), acidulantes (ácido cítrico), leche descremada, entre otros ingredientes. Considerando que no hay estudios específicos de temperado en cremas comerciales, en este trabajo se experimentó con una crema para batir con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes, una media crema con 20% grasa con emulsificantes y estabilizantes, y una crema regular con 30% grasa sin emulsificantes ni estabilizantes, las cuales se sometieron a temperado a 12 y 25 °C para evaluar el efecto en el comportamiento viscoelástico, parámetros texturales y tamaño de partícula.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 Crema

1.1.1 Definición de crema. Es el producto terminado en el que se ha reunido una fracción determinada de grasa y sólidos no grasos de la leche, ya sea por reposo, por centrifugación o reconstitución, sometida a pasteurización y cualquier otro tratamiento térmico que asegure su inocuidad (NOM-243-SSA1-2010). Las cremas son emulsiones de tipo aceite en agua (A/H) cuya fase lipídica está distribuida en pequeñas gotas rodeadas por una película, a través de la cual limitan con la fase acuosa (Márquez y col., 2005a).

1.1.2 Clasificación

Las cremas se pueden clasificar de acuerdo al proceso al que hayan sido sometidas o a su contenido de grasa.

a) Según la NOM-243-SSA1-2010 la clasificación de acuerdo a su proceso es la siguiente:

- Pasteurizadas
- Ultra pasteurizadas
- Esterilizadas
- Deshidratadas
- Acidificadas
- Fermentadas
- Batidas y para batir

b) Según el Apartado III.7.1 del Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios, la clasificación de los diversos tipos de cremas encontradas en el mercado, de acuerdo a su contenido de grasa o tipo es:

- **Crema**, la que contiene un 30% de grasa de leche.

- **Crema extra grasa**, la que no contiene menos de 35% de grasa de leche.
- **Media crema**, la que no contiene menos de 20% de grasa de leche.
- **Crema ligera o crema ligera para café**, la que no contiene menos de 14% de grasa de leche.
- **Crema para pastelería**, a la que se le ha agregado azúcar y que no debe contener menos de 20% de grasa de leche.
- **Crema para batir**, la que no contiene menos de 30% de grasa de leche.
- **Crema extra grasa para batir**, la que no contiene menos de 35% de grasa de leche, emulsivos y espesantes, y estabilizantes.
- **Crema dulce de mantequilla en polvo**, la obtenida por deshidratación del concentrado de suero de mantequilla dulce, que no debe contener menos de 7% de grasa butírica, ni menos de 30% de proteína, y no más de 4% de humedad.
- **Crema cultivada**, aquella cuya acidez proviene únicamente de la presencia de cultivos de bacterias lácticas, con un contenido no menor de 30% de grasa y un mínimo de acidez de 0.5% expresado en ácido láctico.
- **Crema acidificada**, la que se obtiene al agregar agentes acidulantes, que puede contener o no cultivos de bacterias lácticas, y cuyo contenido de grasa y acidez deberá corresponder a la de la crema cultivada.

Existen también las llamadas **cremas vegetales**, a las que se les sustituye parcial o totalmente la grasa de la leche (butírica) por grasa vegetal, y por ello no deben ostentar la denominación “crema”, sino la de “crema con grasa vegetal”. Según el Reglamento de Control Sanitario de la Secretaría de Salud, Apéndice, Apartado III.1.5 la crema vegetal es un alimento obtenido de las emulsiones de grasas o aceites vegetales comestibles en leche o sólidos de leche y aditivos para alimentos, sometidas a pasteurización, ultrapasteurización o esterilización con características semejantes a la crema de leche. Debido a la importancia que tiene la grasa o los lípidos en las cremas, éstos se definen a continuación.

1.2 Lípidos

1.2.1 Definición. Los lípidos son pequeñas moléculas orgánicas que se encuentran en la naturaleza y que tienen una solubilidad limitada en agua y que pueden ser aisladas de los organismos por extracción con disolventes orgánicos no polares. Ejemplos de éstos son las grasas, los aceites, las ceras y muchas vitaminas (McMurry, 2006).

En los alimentos, los lípidos pueden estar en forma visible (por ejemplo capas de grasa en las carnes o el aceite en las oleaginosas) o separados de su fuente original animal o vegetal. Su composición, estructura cristalina, comportamiento en la fusión y en la solidificación y su asociación con el agua y otras macromoléculas no lipídicas son especialmente importantes con lo que respecta a las propiedades de textura que imparten y a sus propiedades funcionales (Fennema, 1993).

1.2.2 Clasificación

Los lípidos se clasifican generalmente en dos tipos: los que son semejantes a las grasas y las ceras, los cuales contienen enlaces éster y pueden ser hidrolizados, y los que son semejantes al colesterol y otros esteroides, los cuales no tienen enlaces éster y no pueden ser hidrolizados (McMurry, 2006).

Las ceras son mezclas de ésteres de ácidos carboxílicos de cadena larga con alcoholes que también poseen cadena larga. Las grasas animales y los aceites vegetales son los lípidos que se encuentran con mayor abundancia en la naturaleza. Aunque ellos parecen diferentes (las grasas animales como la mantequilla y la manteca son sólidas, mientras que los aceites vegetales como el de maíz y cacahuete son líquidos) sus estructuras están estrechamente relacionadas. Desde el punto de vista químico, las grasas y los aceites son triacilgliceroles (TAG, también llamados triglicéridos), triésteres del glicerol con tres ácidos carboxílicos de cadena larga (McMurry, 2006).

En los alimentos, los más abundantes son los acilgliceroles, dominantes en la composición de las grasas y aceites animales y vegetales. Los acilgliceroles se clasifican tradicionalmente en los subgrupos siguientes del Cuadro 1.1.

Cuadro 1.1 Clasificación de los acilgliceroles.

Clasificación	Descripción
Grasa de la leche	Proviene de la leche de los rumiantes, particularmente de la vaca y sus principales ácidos grasos son el palmítico, oleico y esteárico, entre otros.
Ácidos láuricos	Las grasas de este grupo se obtienen de algunas especies de palma como el coco y el babasu y se caracterizan por su alto contenido en ácido láurico, su bajo contenido en ácidos grasos insaturados y punto de fusión relativamente bajo.
Mantecas vegetales	Las grasas de este grupo provienen de las semillas de varios árboles tropicales y se caracterizan por su estrecho rango de punto de fusión. Ejemplo: manteca de cacao.
Ácidos oleicos y linoleicos	Estas grasas son las más abundantes. Estos aceites son de origen vegetal y contienen grandes proporciones de ácidos grasos oleicos y linoleico y menos del 20% de ácidos grasos saturados.
Ácidos linolénicos	Las grasas de este grupo contienen cantidades sustanciales de ácido linoleico; entre ellas están los aceites de soya, germen de trigo, de cáñamo y de perilla.
Grasas animales	Este grupo está formado por las grasas de reserva de los animales domésticos (manteca y sebo), contienen cantidades apreciables de triacilgliceroles totalmente saturados y tienen puntos de fusión relativamente altos.
Aceites de origen marino	Éstos contienen normalmente gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga y son ricos en vitaminas A y D. Debido a su grado de insaturación, resisten menos a la oxidación que otros aceites animales o vegetales.

(Fennema, 1993).

1.2.3 Factores que influyen en la consistencia de las grasas comerciales

Proporción de sólidos en la grasa. Cuanto mayor sea el contenido de grasa sólida, más dura es la grasa (Fennema, 1993).

Número, tamaño y tipo de cristales. Para un contenido dado de sólidos, la abundancia de cristales pequeños da una mayor dureza a la grasa que la proporcionada por unos pocos cristales gruesos. Los cristales grandes, blandos, se producen en un enfriamiento lento. Los cristales formados por glicéridos de alto punto de fusión ofrecen más rigidez que los de los glicéridos de punto de fusión más bajo (Fennema, 1993).

Temperatura. El que una grasa tienda a sobre enfriarse excesivamente puede evitarse realizando su fusión a la temperatura más baja posible, manteniéndola durante un gran periodo de tiempo a una temperatura justo por encima de su punto de fusión, y enfriándola después, lo que facilita la formación de un gran número de núcleos cristalinos, y por tanto muchos pequeños cristales, dándole una consistencia más firme (Fennema, 1993).

Trabajo mecánico. Las grasas cristalizadas son generalmente tixotrópicas (cuando la viscosidad aparente disminuye al aumentar la velocidad y el tiempo de cizalla, hasta un punto en el cual la viscosidad aparente permanece constante), es decir, pueden volverse más blandas, reversiblemente con una vigorosa agitación (Fennema, 1993).

1.2.4 Cristalización de la grasa

Las grasas y los lípidos se emplean en alimentos, cosméticos, productos farmacéuticos, entre otras, como cuerpos principales de los productos finales, o como matrices en las que los productos químicos están dispersos y tienen un fin cosmético o farmacológico. Las especies moleculares de las grasas y lípidos son las parafinas, ácidos grasos, glicerol (mono, di y trí) y fosfolípidos que se clasifican como compuestos de cadena larga. El comportamiento de cristalización de las grasas y lípidos tiene dos implicaciones industriales importantes: (a) procesamiento de los productos finales hechos de cristales de grasa, tales como, chocolate, margarina, crema batida, entre otros y (b) la separación de materiales grasos y lípidos de sus fuentes naturales. Las fuentes naturales de las grasas y

lípidos son grasas vegetales, animales y aceites, que contienen varias especies moleculares que tienen diversas propiedades químicas y físicas. Las propiedades específicas de la cristalización de las grasas y los lípidos pueden ser reveladas en el polimorfismo por un lado, y en las interacciones moleculares por el otro (Sato, 2001).

Por consiguiente, el estudio de las propiedades físicas de las grasas es de gran interés, entre las cuales la comprensión de las microestructuras en los estados de dispersión coloidales tales como agregaciones de cristales en emulsiones agua en aceite (W/O) y aceite en agua (O/W), son significativamente importantes (Sato y Ueno, 2011). En emulsiones agua en aceite la cristalización de los lípidos del medio continuo puede favorecer la consistencia y propiedades de flujo de la emulsión, así como su estabilidad física. Por el contrario, en emulsiones aceite en agua puede ser un problema debido a que la interpenetración de cristales de gotas cercanas puede favorecer la desestabilización de la emulsión mediante el mecanismo conocido como coalescencia parcial de gotas (Muñoz, 2007).

En general, las grasas forman redes de partículas cristalinas en los estados de dispersión coloidal, manteniendo formas polimórficas específicas, morfología cristalina e interacciones partícula-partícula. El polimorfismo se define como la capacidad de un compuesto químico para formar diferentes estructuras cristalinas o líquidos cristalinos y las formas típicas polimórficas de grasas son α , β' y β . El comportamiento de fusión y cristalización será diferente de un polimorfo a otro. El polimorfo α es menos estable y fácilmente se transforma β' o β , dependiendo del tratamiento térmico. El polimorfo β' , en la forma meta-estable, se utiliza en la margarina y manteca, debido a su morfología cristalina y redes cristalinas de grasa, que dan lugar a propiedades óptimas reológicas y de textura. La forma más estable β tiende a formar grandes placas en forma de cristal, lo que resulta en escasas propiedades macroscópicas en la manteca y la margarina (Sato y Ueno, 2011).

Los cristales de la grasa aparecen en la forma β' estable como agujas finas microscópicas de aproximadamente $1\ \mu$ de longitud, como se muestra en la Figura 1.1. Esta estructura es típica de las grasas con triglicéridos distribuidos al azar, como la manteca de cerdo y el sebo. Las grasas que cristalizan en la forma β tienden a formar cristales grandes y gruesos de entre 25 y $50\ \mu$, y hasta de $100\ \mu$ después de periodos largos de envejecimiento. Las

asociaciones de este tipo de cristales son las responsables de las texturas granuladas y arenosas. Los cristales α tienen la forma de plaquitas frágiles de un tamaño de $5\ \mu$. Los cristales β' pueden incluir gran cantidad de burbujas diminutas, proporcionando texturas blandas y arenosas a los productos grasos (Wong, 1995).

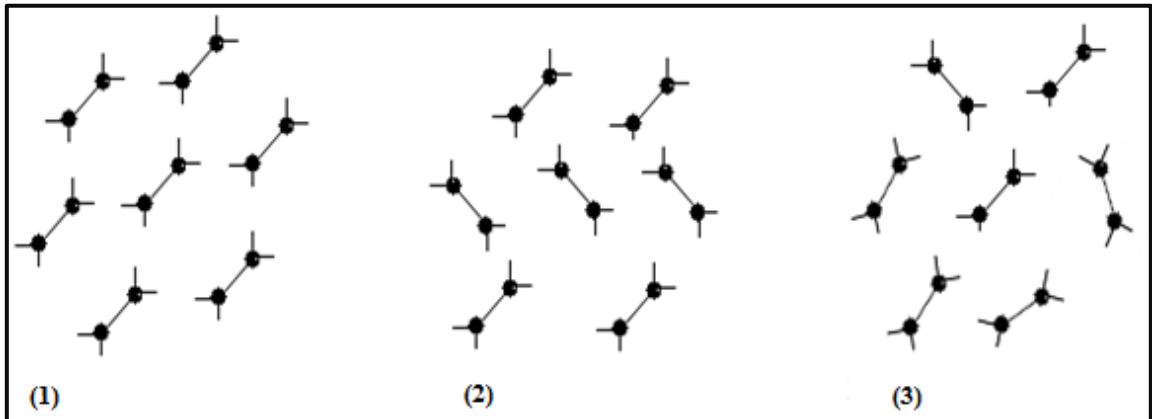


Figura 1.1. Cristales de triglicérido β (1), β' (2) y α (3) (Wong, 1995).

1.2.5 Plasticidad de la grasa

La plasticidad es una propiedad física de la grasa que describe que tan suave, plegable o moldeable es a una determinada temperatura. Las características físicas como la extensibilidad, plasticidad y consistencia de las grasas comestibles solidificadas comerciales, dependen de los siguientes factores: cantidad de sólidos (cristales de glicérido) presentes a una temperatura dada, punto de fusión de los glicéridos presentes en la grasa y forma polimórfica (hábito cristalino) de los glicéridos constituyentes. Una grasa puede considerarse como una masa de cristales entrecruzados (fase sólida) que alberga a una fase líquida. La plasticidad de una grasa depende de la existencia de una proporción adecuada entre la fase líquida y la sólida. Es imprescindible que exista un equilibrio entre la fase sólida y la líquida, de tal forma que los sólidos se deslicen y fluyan cuando se aplique una fuerza externa que sea superior a las fuerzas de unión de la masa sólida. La grasa recupera la consistencia original después de que cese la fuerza exterior (Wong, 1995).

El intervalo de temperatura en el que la grasa mantiene esta característica plástica se denomina rango plástico. Si la grasa tiene una proporción de sólidos demasiado pequeña

fundirá, mientras que si el contenido de sólidos es demasiado alto se volverá quebradiza (Wong, 1995). Sin importar cuál sea la grasa utilizada, se debe tener en mente el perfil de sólidos grasos con respecto a la temperatura como el que se muestra en la Figura 1.2, ya que si la grasa tiene alto punto de fusión, por ejemplo en el caso de la crema, puede resultar demasiado dura a la temperatura de batido o mezclado (cuando se trata de espumas, lo cual afecta negativamente la incorporación de aire) y al ser consumida, dejar residuos de grasa no derretida en el paladar (los cuales son muy desagradables). En la Figura 1.2 se observa que la grasa de cacahuate y de girasol tienen puntos de fusión muy bajos (menores a 5 °C), mientras que la grasa butírica, palmiste y coco presentan mayores puntos de fusión (de 30 a 35 °C) y tienen un comportamiento similar ya que a 35 °C aproximadamente tienen 90% de grasa líquida. La grasa de palma tiene el 70% de grasa líquida a una temperatura de 25 °C (Vega, 2006).

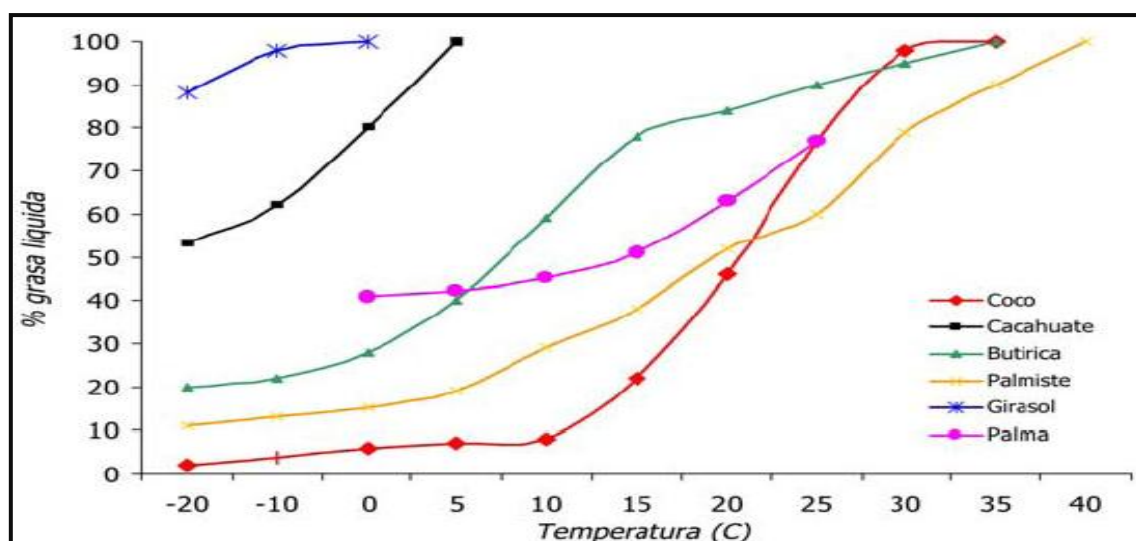


Figura 1.2. Perfil de sólidos grasos con respecto a la temperatura para diferentes fuentes de grasa comúnmente utilizadas en la manufactura de helados y cremas batidas (Vega, 2006).

1.2.6 Grasa Láctea

En la clasificación de las cremas de acuerdo a su contenido de grasa, se puede observar que la mayoría de las cremas contienen grasa láctea, que es la parte rica en grasa de la leche obtenida por descremado natural o por centrifugación de la leche entera. El uso de ésta es diverso, pero su mayor utilidad es como alimento natural del hombre, y tratada en forma

especial como materia prima en la elaboración de otros productos secundarios como helados, cremas batidas o postres.

La grasa láctea es, posiblemente, la más compleja de las grasas comestibles. En ella se han detectado cerca de 400 ácidos grasos (AG) diferentes, con longitudes de cadena que van desde C2 hasta C28, incluyendo pares, impares, saturados, insaturados, *cis* y *trans*. Algunos de estos AG han mostrado tener propiedades interesantes para la salud de los consumidores, especialmente el ácido butírico, el ácido vaccénico, y los ácidos linoléicos conjugados (Rico y col., 2007). En el Cuadro 1.2 se muestra la composición de la grasa láctea y en el Cuadro 1.3 el contenido de ácidos grasos en la misma. La grasa láctea tiene un punto de fusión de 28 a 37 °C y debido a que está presente en la mayoría de las cremas y como tal, éstas son emulsiones, se definirán en el siguiente tema.

Cuadro 1.2. Composición de la grasa láctea (g de ácido graso/100 g de grasa).

Ácido graso	Promedio	Rango
Butírico	1.6	0.7 – 3.3
Caprónico	1.2	1.0 – 1.7
Caprílico	0.7	0.5 – 0.8
Caprílico	1.6	1.3 – 1.7
Láurico	1.9	1.7 – 2.3
Mirístico	8.9	8.2 – 9.9
Pentadecílico	1.2	1.0 – 1.4
Palmítico	26.6	24.9 – 27.3
Palmitoléico	1.2	0.1 – 1.6
Esteárico	15.6	13.5 – 17.1
Oléico	31.3	30.5 – 33.1
Linoleico	1.3	1.1 – 1.6
Alfa-linolénico	0.3	0.1 – 0.5
Ruménico	1.4	0.6 – 1.9

(Rico y col., 2007).

Cuadro 1.3. Contenido de ácidos grasos en la grasa de la leche.

Tipo de ácidos grasos	% del total de la grasa
Saturados	63.58
Insaturados	36.42
Monoinsaturados	33.27
Poliinsaturados	3.15

(Rico y col., 2007).

1.3 Emulsiones

Una emulsión es una dispersión coloidal de un líquido dentro de otro, en el cual es normalmente inmiscible. La fase dispersa se obtiene al romper uno de los líquidos por medios mecánicos en pequeñas gotas, entre 0.1 y 10 μm , que se distribuyen en la fase continua o dispersante (Badui, 2006). Algunas emulsiones son productos finales que deben permanecer estables al cremado y coalescencia durante su producción y vida útil, mientras que otras son productos intermedios a partir de los cuales se elaboran otros productos como en el caso de las cremas para batir.

El comportamiento de las emulsiones alimenticias es determinado por tres fases del sistema: la fase oleosa, la interfase y la fase acuosa. La fase oleosa puede estar parcialmente o totalmente cristalizada dependiendo de la temperatura; la interfase puede estar compuesta de proteínas o de pequeños emulsificantes tales como monoglicéridos, fosfolípidos, ácidos grasos o mezclas de estas moléculas de superficie activa. La fase acuosa puede contener iones, biomoléculas tales como polisacáridos o proteínas, entre otras, lo que puede ejercer efectos de estabilización o desestabilización. La comprensión de las propiedades estructurales de las emulsiones requiere un preciso conocimiento de estas tres fases, tanto individualmente como de manera conjunta (Leal-Calderón y col., 2007).

En las emulsiones hay dos fases presentes, una la forma el aceite (A) y la otra el agua (H), y éstas dan lugar a la formación de dos tipos de emulsiones principalmente: aceite en agua (A/H) (Figura 1.3a) y agua en aceite (H/A) (Figura 1.3b). La estabilidad de una emulsión sólo se logra si se incorpora una tercera sustancia, que actúa en la interfase de los líquidos y que se denomina emulsificante (Wong, 1995).

El comportamiento de las emulsiones alimenticias está determinado por las dos fases antes mencionadas (fase oleosa y acuosa) y por la interfase aceite-agua. La fase oleosa puede estar parcialmente o totalmente cristalizada dependiendo de la temperatura. La interfase puede estar compuesta por proteínas o emulsificantes de bajo peso molecular como monoglicéridos, fosfolípidos, ácidos grasos o mezclas de estos agentes tensoactivos. La fase acuosa puede contener iones, biomoléculas como polisacáridos y proteínas los cuales pueden ejercer un efecto estabilizante o desestabilizante. El entendimiento de las

propiedades estructurales de las emulsiones requiere un conocimiento preciso del comportamiento de estas tres fases tanto de manera individual como en forma cooperativa. El estudio de la estructura de las emulsiones está entrando a un periodo muy productivo, gracias al desarrollo de nuevas técnicas de medición como retrodispersión de luz, microscopía con focal láser, espectroscopía de difusión de ondas, espectroscopía ultrasónica, análisis de imágenes, resonancia magnética nuclear, entre otras (Leal-Calderón y col., 2007).

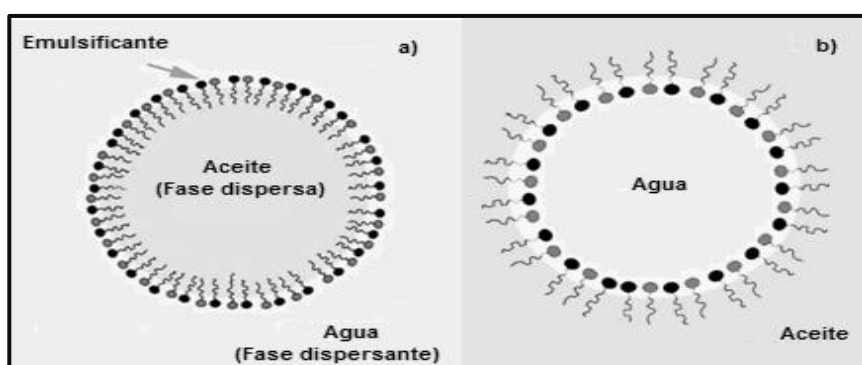


Figura 1.3 Tipos de emulsiones a) aceite en agua b) agua en aceite (Pascali, 2009).

1.4 Inestabilidad de las emulsiones

Muchas partículas presentes en las emulsiones alimenticias pueden favorecer la estabilidad o por el contrario ser una causa potencial de inestabilidad y provocar coalescencia o cambios de estado físico. Como ejemplo, los iones calcio comunes en emulsiones lácteas, así como muchas proteínas, pueden interactuar con las macromoléculas adsorbidas en la película superficial de las gotas de la emulsión y causar otro tipo de inestabilidad como la floculación (rompimiento de la emulsión) o gelación (cambio de estado físico). La temperatura alta favorece estos procesos de desestabilización (Badui, 2006), ya que reduce la viscosidad de la fase continua y la tensión interfacial provocando que las gotas de la fase dispersa se unan.

La formación de una emulsión es un proceso dinámico, termodinámicamente desfavorable, debido al aumento del área interfacial como consecuencia de la emulsificación. De aquí

que, después de cierto tiempo, cualquier emulsión colapsará en dos fases en un intento de minimizar el área de contacto. En la Figura 1.4 se muestran mecanismos que contribuyen a la inestabilidad de las emulsiones como el cremado, floculación, maduración de Ostwald o engrosamiento de gotas, coalescencia e inversión de fases. El cremado es debido a la diferencia de densidad entre las dos fases por efecto de la gravedad, lo que da lugar a la separación de fases. La floculación es la agregación de partículas debido a las débiles fuerzas atractivas entre coloides y depende de la energía de interacción entre dos partículas en función de la distancia inter-partícula. Durante la floculación, las partículas retienen su integridad estructural. Durante la coalescencia, dos gotas que coalisionan, formarán una sola gota más grande. Para que la coalescencia ocurra, se debe vencer una barrera energética inicial, después de la cual, la coalescencia evolucionará rápidamente. La coalescencia puede ser completa cuando las gotas son líquidas y parcial si las gotas contienen materia cristalina (Rosseau, 2000).

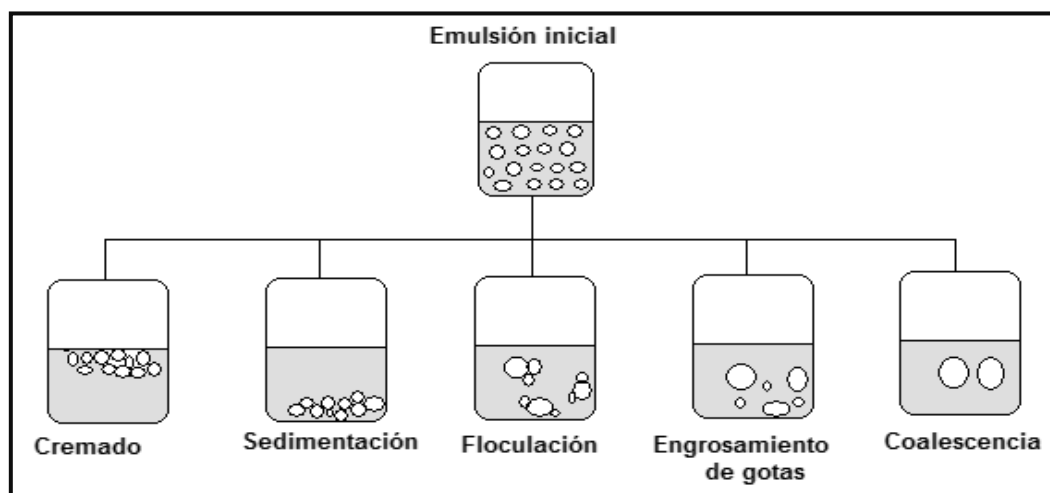


Figura 1.4. Mecanismos que contribuyen a la inestabilidad de las emulsiones (Aranberri, 2006).

1.4.1 Cremado / sedimentación. El cremado es un proceso causado por la diferencia de densidades de las fases, por lo que las gotas de grasa se orientarán en la parte superior porque su densidad es menor que la fase acuosa. La sedimentación se trata de un proceso causado por la acción de la gravedad y produce un gradiente vertical de concentración de

las gotas sin variar la distribución del tamaño de las mismas. Para las emulsiones A/H, las gotas de aceite son menos densas que la fase continua y acuosa y por lo tanto principalmente ocurre el cremado. Para una gota de emulsión aislada, la velocidad de cremado/sedimentación (v) es definida por la ecuación 1.1 (Dickinson, 1992, citado en Aranberri, 2006).

$$v = 2a^2 * \frac{[(\rho - \rho_o)g]}{9\eta} \quad (1.1)$$

Esta ecuación es conocida como la ley de Stocks, siendo la a el radio de la gota (micras), ρ_o y ρ las densidades de las fases continua y dispersa respectivamente (Kg/m^3), g la aceleración debido a la gravedad (m/s^2) y η la viscosidad absoluta ($\text{Kg/m}^*\text{s}$) de la fase continua.

1.4.2 Floculación. Es la adición de las gotas sin fusionarse y no existe una variación en la distribución de tamaño de gotas. Este proceso está controlado por el equilibrio global entre las fuerzas de atracción electrostáticas de Van der Waals, y repulsivas de tipo estéricas y de hidratación (Aranberri, 2006).

1.4.3 Engrosamiento de gotas. Se debe al crecimiento de las gotas más grandes a costa de las más pequeñas hasta que estas últimas desaparecen. Este proceso ocurre a una velocidad que es función de la solubilidad de la fase dispersa en la fase continua y se debe a que la presión interna de las gotas (presión de Laplace) es mayor en las gotas más pequeñas, la siguiente ecuación define la velocidad de engrosamiento de las gotas dispersas (Voorhees, 1985, Wagner, 1961, citados en Aranberri, 2006):

$$\omega = \frac{(dac^3)}{dt} = \frac{[8c(\infty)\gamma DV_m]}{9RT} f(\phi) \quad (1.2)$$

Siendo “ t ” el tiempo (s), “ a_c ” el radio crítico de gota (micras), para el cual las gotas ni crecen ni se encogen y aproximadamente al valor medio del radio de las gotas, “ D ” es el coeficiente de las especies disueltas en la fase acuosa, “ γ ” es la tensión superficial de la interfase agua-aceite (Kg/s^2), “ V_m ” es el volumen molar del aceite (m^3/mol), “ $c(\infty)$ ” es la solubilidad molecular de la fase dispersa en la fase continua (mol/m^3) y “ $f(\phi)$ ” es el factor de corrección que tiene en cuenta que la velocidad de engrosamiento es función de la

fracción de volumen ϕ , e igual a 1 en el límite $\phi \rightarrow 0$, “R” es la constante de gases (J/mol*K) y “T” la temperatura absoluta (K). Experimentalmente “ ω ” se determina a partir de la pendiente de la recta que se obtiene al representar “ a_c^3 ” frente al tiempo.

1.4.4 Coalescencia. Es la fusión de gotas para crear unas gotas más grandes con la eliminación de una parte de la interfase líquido/líquido. Este cambio irreversible requiere un aporte extra de energía para restablecer la distribución del tamaño de partícula original (Aranberri, 2006).

a) Coalescencia parcial

En las emulsiones alimenticias aceite-agua a temperaturas superiores al punto de fusión de la grasa, las gotas de ésta tienen forma esférica controlada por la tensión superficial, con el enfriamiento se convierten en una superficie rugosa y ondulada debido a la formación de cristales de forma y orientación irregulares. Las emulsiones diluidas o altamente concentradas hechas de grasa cristalizables, presentan propiedades mecánicas y una dinámica interna muy variable, ya que la grasa cristalizada posee propiedades superficiales específicas que tienen un fuerte impacto en el comportamiento global de la emulsión, pudiendo dar como resultado una desestabilización o incremento de la consistencia de la emulsión (Leal-Calderón y col., 2007). El mecanismo a través del cual ocurre esta desestabilización se conoce como coalescencia parcial y puede ser inducido básicamente de dos formas, bajo cizalla vigorosa y en reposo.

b) Mecanismos de inducción de coalescencia parcial

- **Bajo cizalla vigorosa.** Cuando se induce intencionalmente de manera controlada bajo cizalla vigorosa, tiene una importante aplicación en procesos como la obtención de manteca, crema batida y helado, donde la estructura desarrollada en la emulsión soporta otros elementos microestructurales como burbujas de aire y es esencial para la calidad del producto final (Vanapalli y Coupland, 2001).

- **En reposo: temperado.** En reposo, la coalescencia parcial puede ser observada solamente si el contenido de grasa de la emulsión es extremadamente alto, como en la capa de cremado, o si se aplica un tratamiento térmico específico conocido como temperado. En el temperado, una emulsión a una temperatura baja, con un contenido suficiente de grasa cristalina, se somete a un calentamiento ligero que produzca la fusión parcial de la grasa, seguido de un nuevo enfriamiento que provoca la recrystalización. La grasa fundida con el calentamiento, aumenta el contacto entre glóbulos lo que favorece la formación de la red de cristales parcialmente coalescidos cuando la emulsión se enfría nuevamente, lo cual incrementa la viscosidad, este proceso se esquematiza en la Figura 1.5. El temperado es una manera eficiente de transformar una crema inicialmente fluida en un material con una consistencia muy espesa o semisólida. La elevación temporal de la temperatura durante el transporte y almacenamiento y el posterior re-enfriamiento incrementan la consistencia de las cremas comerciales, debido a la coalescencia parcial (Boode y Walstra, 1993, Leal-Calderón y col., 2007, Mutho y col., 2001).

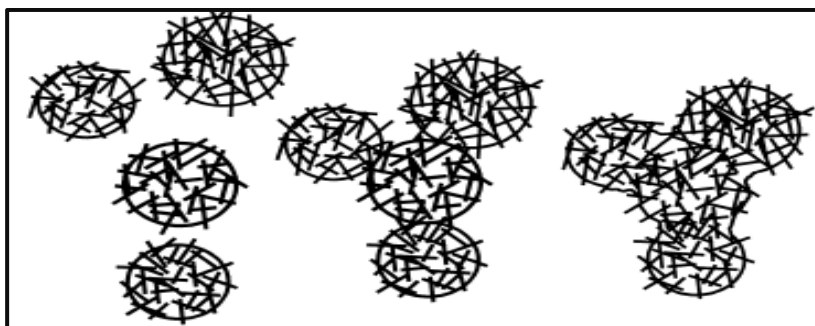


Figura 1.5. Coalescencia parcial de las gotas de aceite parcialmente cristalizadas (Van Boekel, 1980).

El fenómeno de la coalescencia parcial en emulsiones aceite en agua, puede describirse como sigue: a temperatura alta, cuando toda la grasa emulsificada se encuentra en estado líquido, las gotas son esféricas (Figura 1.6 a1 y a2), cuando la grasa de las gotas cristaliza parcialmente, las gotas se vuelven menos esféricas debido a la formación de una red de cristales (Figura 1.6 b1 y b2), si las gotas colisionan o están en contacto, durante el periodo en que la grasa es semisólida, los cristales de una gota penetran la superficie que recubre la

segunda y el aceite fluye hacia afuera, humectando la grasa sólida y reforzando el contacto en los puntos de unión (Figuras 1.6 c1 y c2). Los pares de gotas parcialmente coalescidas y los glóbulos más grandes son estables mientras haya una red de grasa para soportarlo, pero rápidamente coalescen cuando la grasa es fundida por completo (unos instantes después de la captura de la fotografía 1.13 d1, las gotas se fusionan en una sola gota como en la Figura 1.6 d2 (Bode y col., 1993b).

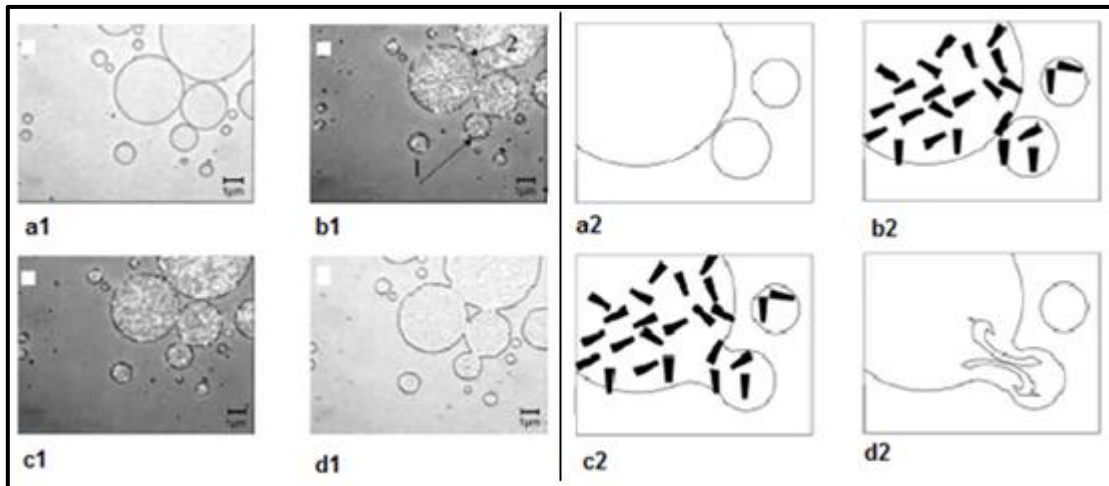


Figura 1.6. Proceso de coalescencia parcial. a1 y a2) grasa emulsificada en estado líquido, b1 y b2) gotas de grasa cristalizadas parcialmente, c1 y c2) cristales de una gota de grasa penetran la superficie de otra gota, d1 y d2) coalescencia (Boode y col., 1993b).

Debido a que la coalescencia parcial requiere del contacto directo de las gotas, es altamente favorecida por la cizalla aplicada, como sucede durante el batido de la crema para elaboración de crema batida (Vanapalli y Coupland, 2001). La coalescencia parcial depende de muchos factores. La composición de la grasa tiene una considerable influencia ya que determina la cantidad de grasa sólida presente. Entre mayor contenido de grasa sólida, mayor será el número de cristales que pueden sobresalir de los glóbulos o gotas. Un déficit de cristales o un contenido de grasa sólida bajo, no es capaz de inducir la coalescencia parcial, mientras que un nivel de grasa sólida muy alto puede dejar muy poca grasa líquida para permitir incluso el comienzo de la asociación de glóbulos (Boode, y col., 1993). La eficacia con que los cristales pueden promover la coalescencia parcial está determinada por múltiples factores como son el número, tamaño y orientación de los cristales en la interfase (ángulo de contacto) y las propiedades de la capa de surfactantes de

bajo peso molecular o proteínas adsorbidos en la interfase. Los emulsificantes de bajo peso molecular desplazan parcialmente a las proteínas en la interfase y mejoran la humectabilidad de los cristales por la fase acuosa, lo que incrementa la posibilidad de la coalescencia parcial. Entre los emulsificantes capaces de incrementar la coalescencia parcial se encuentran monoglicéridos, lecitina, entre otros (Benjamins y col., 2009).

El fenómeno de la coalescencia parcial ha sido ampliamente estudiado en cremas batidas, debido a que es precisamente este fenómeno el que le imparte estructura y estabilidad al producto, a través de la desestabilización de una crema base por medio del batido en frío, lo que provoca la coalescencia parcial de la grasa y los glóbulos o gotas parcialmente coalescidos rodean a las burbujas de aire, estabilizándolas. Los estudios han tomado muy diferentes enfoques: efecto de los tratamientos térmicos en las proteínas de la leche; desplazamiento de proteínas en la interfase por emulsificantes de bajo peso molecular; efecto de estabilizantes (carragenina, algarrobo, xantana, derivados de celulosa), efecto del tipo de grasa (grasa vegetal, grasa láctea de diferentes puntos de fusión), efecto del temperado (ciclos de calentamiento-enfriamiento) y de la crema batida (Gravier y col., 2005, Márquez y col., 2005a,b y c., Drelon y col., 2005).

c) Estudios de coalescencia y temperado en emulsiones.

En cremas de consumo directo, el fenómeno de la coalescencia parcial ha sido estudiado por Márquez, (2005), Mutho, (2001), Boode, (1993), y Leal-Calderón, (2007). Se evaluó la obtención de cremas líquidas estables compuestas por leche de soja en polvo, aceite de girasol refinado y grasa láctea. En las emulsiones inestables, el proceso predominante de desestabilización fue la separación gravitacional. Las emulsiones más estables fueron las preparadas con goma xantana, 10% de leche de soja y mayor contenido de fase lipídica. El aumento de la estabilidad en las emulsiones con mayor contenido de aceite no se atribuyó al tamaño de gota, sino a un aumento en la viscosidad. De las emulsiones preparadas, sólo aquellas con un alto porcentaje de fase lipídica (40-50%) conteniendo 30-50% de grasa láctea, aumentaron su consistencia por batido en forma marcada. Las cremas preparadas con leche de soja más concentrada y/o con adición de goma xantana fueron más estables, siendo más importante la presencia del hidrocoloide. También la estabilidad aumentó como

resultado del aumento de la cantidad de fase lipídica a pesar de haber un aumento en el tamaño de gota (Márquez y col., 2005a). También se estudió el efecto de la agitación sobre el comportamiento reológico en emulsiones tipo crema preparadas con leche de soja reconstituida (5 y 10%), aceite de girasol y grasa láctea de alto punto de fusión comparativamente con una nata comercial. Las cremas, inicialmente líquidas, aumentaron su consistencia durante la agitación cuando el contenido de fase lipídica fue del 40%, aunque se requirió mayor tiempo de agitación en cremas con leche más concentrada (a igual proporción de fase lipídica) se registró un aumento más pronunciado de la viscoelasticidad. Por otra parte, al aumentar la concentración de grasa láctea en la fase lipídica se requirió un tiempo de agitación menor por verse favorecida la coalescencia parcial. Las emulsiones con fases lipídicas relativamente bajas (20%) no aumentaron su consistencia por agitación (Márquez y col., 2005b).

Se analizó el efecto de los ciclos de calentamiento – enfriamiento sobre cremas preparadas a 60 °C con leche de soja en polvo reconstituida, aceite de girasol y grasa láctea, almacenadas posteriormente a 4 °C durante 3 horas. Los ciclos consistieron en un calentamiento a 40 o 50 °C (30 min.) seguido de un enfriamiento a 4 °C (2 horas). En los ensayos realizados sobre cremas formuladas con 40% de fase lipídica se observó un aumento de los valores de G' y G'' después del ciclo 40 °C – 4 °C, a pesar de no haberse observado un aumento en el contenido de grasa sólida. Estos resultados se atribuyeron a la formación de agregados de gotas inducida por la fusión parcial, reordenamiento y recristalización de la grasa láctea en las gotas. Frente al mismo ciclo térmico, la crema con 20% de fase lipídica no aumentó su consistencia, dada la ausencia o formación insuficiente de agregados por el bajo número de gotas. Ensayos similares sobre la nata a 40 °C o sobre las cremas de leche de soja a 50 °C, no mostraron cambios reológicos, debido a la fusión casi total de la grasa (Márquez y col., 2005c).

Estos resultados son concordantes en estudios realizados con cremas elaboradas con proteínas lácteas, grasa vegetal y emulsificantes no proteicos (Mutoh y col., 2001). La coalescencia parcial puede ser provocada en condiciones de reposo tras la aplicación de un tratamiento térmico específico llamado “temperado”. El temperado consiste en la aplicación de un ciclo de temperatura tal que produzca la fusión parcial de los cristales

(etapa de calentamiento), seguido de una recristalización (etapa de enfriamiento). El temperado es conocido como una manera eficiente de transformar una crema fluida inicialmente en un material con más espeso o de consistencia más sólida (Leal-Calderón y col., 2007).

1.5 Estabilidad de emulsiones

Los procesos de inestabilidad se pueden retardar si se estabilizan las emulsiones agregándoles agentes emulsionantes como pueden ser proteínas, emulsificantes y/o estabilizantes (Fennema, 1993).

1.5.1 Estabilización por sólidos finamente divididos. Las partículas sólidas de tamaño muy pequeño comparado con el de las gotas de aceite dispersadas, pueden estabilizar una emulsión, ya que se adsorben en la interfase formando una barrera física alrededor de las gotas. Además, se necesita energía para desalojar las partículas sólidas de la interfase, puesto que la interfase superficial del aceite en el agua debe aumentarse para ello (Fennema, 1993).

1.5.2 Estabilización por macromoléculas. Varias sustancias de peso molecular elevado, entre las que se encuentran algunas gomas y proteínas, son capaces de formar películas gruesas alrededor de las gotitas de grasa, dotándola así de una barrera física frente a la coalescencia. Cuando se adsorben proteínas en la interfase, éstas se extienden y dispersan en la interfase de forma que sus grupos no polares se orienten hacia el aceite y sus grupos polares hacia la fase acuosa. El efecto estabilizante de la emulsión depende principalmente de las propiedades reológicas (viscoelasticidad) y del espesor de la película de la proteína (Fennema, 1993).

1.5.3 Estabilización mediante cristales líquidos. En una emulsión las interacciones entre el emulsificante, el aceite y el agua dan lugar a la formación de una multicapa con estructura de cristal líquido alrededor de las gotas. Esta barrera produce en la interacción, una reducción de las fuerzas de Van der Waals, dando lugar a una mayor estabilidad de la

emulsión. El tipo de multicapas de cristales líquidos formados depende en gran medida de la naturaleza del emulsionante (Fennema, 1993).

1.5.4 Estabilización por aumento de la viscosidad de la fase continua. Cualquier factor que contribuya a aumentar la viscosidad de la fase continua de la emulsión da lugar a una demora significativa en los procesos de floculación y coalescencia. Además de todos estos factores también favorece la emulsión la existencia de una diferencia de densidad mínima entre las fases y el tamaño pequeño de los glóbulos o gotas dispersos (Fennema, 1993).

1.6 Emulsificantes

Son aditivos tensoactivos que reducen la tensión superficial y hacen que las dos fases se estabilicen ya que también son agentes anfifílicos (del griego *amphi*, de ambos lados) de alto o bajo peso molecular que tienden a migrar y adsorberse rápidamente en la interfase aceite-agua y están constituidos por dos fracciones diferentes, como muestra la Figura 1.7, tienen una parte hidrófila (polar) que se solubiliza en agua, y otra hidrófoba (no polar) que se solubiliza en los lípidos. Su eficiencia está ligada a su solubilidad en cada fase y para ejercer una mejor acción debe ser más soluble en la fase continua (Badui, 2006). Tienen una estructura muy característica que les habilita para adsorberse en las interfases, formar agregados y auto asociarse en soluciones acuosas (Katime y col., 2003).

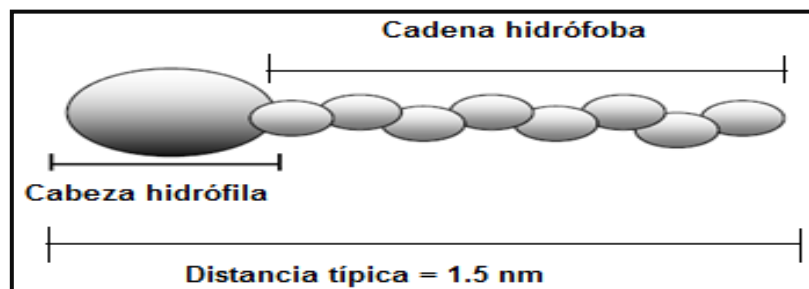


Figura 1.7. Estructura típica de una molécula de agente tensoactivo (Aranberri, 2006).

En la Figura 1.8 se muestra la orientación del emulsificante de bajo peso molecular en una emulsión en donde las moléculas de éste se alinean alrededor de la circunferencia de la gota de aceite antes de que ésta tenga la oportunidad de unirse nuevamente con otras gotas. La parte soluble en grasa de cada molécula del emulsificante se orienta hacia la fase oleosa y de hecho se disuelve en la capa externa de las moléculas de grasa de la gota (Charley, 1999).

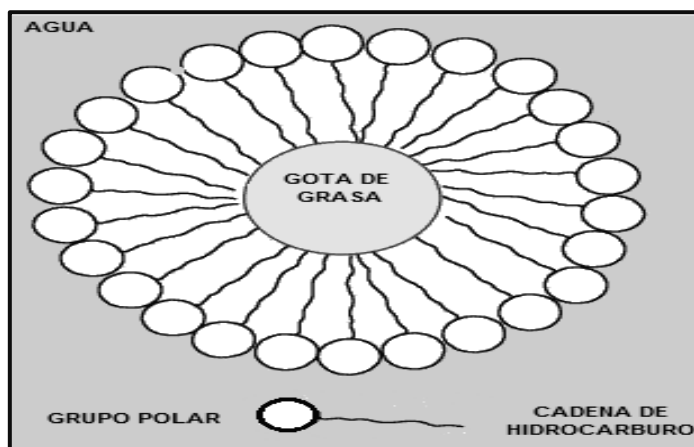


Figura 1.8. Orientación del agente emulsificante de bajo peso molecular en una emulsión de aceite en agua (Charley, 1999).

La porción soluble en agua de cada molécula se orienta hacia la fase continua del agua que rodea la gota de aceite y se disuelve en ésta. Las moléculas del emulsificante se agrupan estrechamente alrededor de la gota de aceite, lo suficiente para formar una capa con el grosor de una molécula (Charley, 1999).

Los emulsificantes ayudan en la formación de una emulsión al disminuir la tensión superficial de los líquidos (de un líquido más que la del otro) y evitan la coalescencia de las gotas de grasa dispersas (Charley, 1999). Favorecen la formación de gotas con un menor consumo de energía, y por tanto la formación de la emulsión, al reducir la tensión interfacial (Muñoz y col., 2007).

La tensión superficial explica la tendencia de dos líquidos a formar gotitas. Las moléculas en la superficie de un líquido, no tienen la misma libertad de movimiento que en el interior

de éste. La fuerza de atracción neta sobre una molécula en el cuerpo principal de un líquido, rodeado en todos sus lados por la misma clase de moléculas, equivale a cero, pero la atracción sobre las moléculas en la superficie de un líquido, produce un desbalance hacia el interior del líquido (Charley, 1999). La tensión interfacial es una consecuencia del desequilibrio de fuerzas sobre las moléculas situadas en una superficie. Si se considera un sistema aceite-agua, las moléculas de aceite situadas en la interfase son muy diferentes de las situadas dentro de la masa de la disolución, experimentando distintos efectos de las fuerzas intermoleculares. Las moléculas tienden a moverse hacia el interior de la masa acuosa, puesto que una molécula de agua en esta posición tiene una energía potencial menor que en la interfase (Figura 1.9). Esta fuerza que impulsa a la molécula de agua situada en la superficie a moverse hacia el interior se denomina tensión interfacial. En una emulsión las moléculas de aceite tienden a mantenerse en la fase lipídica. Otra forma de razonar esto, es considerando la energía necesaria para desplazar una molécula de agua desde el conjunto de la disolución hasta la superficie. Esta energía se utiliza para aumentar el área interfacial. Por esta razón, las gotas adoptan espontáneamente una forma esférica, puesto que la esfera tiene la mínima relación superficie/volumen (Wong, 1995).

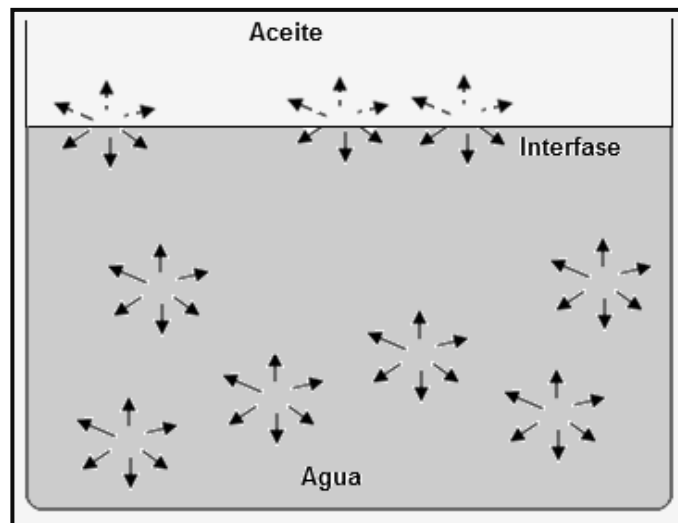


Figura 1.9. Fuerzas que actúan sobre las moléculas en el interior y sobre la superficie de un líquido (Wong, 1995).

Sin embargo, los emulsificantes, además de facilitar la formación de las emulsiones, aportan desde la interfase una cierta estabilidad cinética, aunque puede ser durante un corto

período de tiempo, en ciertos casos, son responsables de que la estabilidad cinética se prolongue. Por ejemplo, en emulsiones como las mayonesas sin polisacáridos añadidos y con un porcentaje en peso de aceite mayor o igual al 78% se mantienen estables durante un tiempo de vida comercial de al menos 1 año (Muñoz y col., 2007).

1.6.1 Tipos de emulsificantes

En alimentos, los emulsificantes empleados pueden ser de dos tipos: emulsificantes de bajo peso molecular y macromoleculares como las proteínas. Como ejemplos de emulsionantes de bajo peso molecular se pueden citar los tensoactivos, lípidos polares y glicolípidos. Entre los emulsionantes de alto peso molecular, se pueden citar las proteínas, lipoproteínas, copolímeros de bloque (sintéticos) y algunos polisacáridos exudados como la goma arábiga (Muñoz y col., 2007).

1.6.2 Emulsificantes de bajo peso molecular

Pueden ser sintéticos o bien de materias primas alternativas, como los fosfolípidos (lecitinas de soja y de huevo), monoglicéridos obtenidos a partir de grasas y aceites mediante inter-esterificación con glicerol, ésteres de sacarosa, ésteres de sorbitano, polisorbatos, entre otros. Se utilizan también ésteres de monoglicéridos con ácidos orgánicos del tipo: acético, láctico, diacetil-tartárico y cítrico, con lo que se logran emulsionantes con propiedades anfifílicas diferentes a los monoglicéridos. En fase acuosa pueden formar diversas estructuras de asociación, que pueden ser de naturaleza micelar e incluso líquido-cristalina. Se han llegado a establecer interesantes relaciones entre los diagramas de fase de tensoactivos y la estabilidad de las correspondientes emulsiones. En la interfase, forman capas mono-moleculares, aunque en ciertas condiciones pueden formar multicapas de naturaleza líquido-cristalina, que aumenta la viscoelasticidad de la interfase, favoreciendo el procesado y estabilidad de las emulsiones (Muñoz y col., 2007).

La representación de un emulsificante de bajo peso molecular se ve en la Figura 1.8.

1.6.3 Emulsificantes macromoleculares: Proteínas

Las proteínas son biomoléculas grandes, formadas por residuos de α -aminoácidos unidos mediante enlaces amida o peptídicos. A las cadenas con menos de 50 aminoácidos se les suele llamar péptidos, en tanto que el término proteína se reserva para las cadenas más grandes (McMurry, 2006). Éstas poseen propiedades nutricionales, y de sus componentes se obtienen moléculas nitrogenadas que permiten conservar la estructura de sistemas como emulsiones, gracias a sus propiedades funcionales. Existe la posibilidad de formar un gran número de proteínas a partir de las 20 unidades básicas denominadas aminoácidos. Las diversas combinaciones de secuencia de aminoácidos, longitud de cadena y organización estructural permiten una gran variedad de estructuras y, por lo tanto, de funciones que dependerán de sus propiedades fisicoquímicas como: carga, hidrofobicidad, estado de agregación, entre otras (Badui, 2006).

a) Estructura de las proteínas

Las proteínas pueden tener cuatro niveles de estructura que se muestran en la Figura 1.10, la estructura primaria de una proteína es simplemente la secuencia de aminoácidos, la estructura secundaria de una proteína describe la orientación de los segmentos de la proteína en patrones regulares, ya sea hélice- α u hoja plegada- β , la estructura terciaria describe el enrollamiento de toda la molécula de la proteína en una forma global tridimensional que ocurre cuando ciertas atracciones están presentes entre hélice- α u hoja plegada- β , la estructura cuaternaria describe cómo se unen las moléculas individuales de proteínas y forman agregados en estructuras mayores (McMurry, 2006).

b) Clasificación

Las proteínas se pueden clasificar de acuerdo a su composición o a su forma tridimensional. En cuanto a su composición, se clasifican en dos tipos principales: las proteínas simples que solo producen aminoácidos cuando se hidrolizan y las proteínas conjugadas las cuales producen por hidrólisis otros compuestos además de aminoácidos, como los carbohidratos, las grasas o los ácidos nucleicos (McMurry, 2006).

Otra forma de clasificar a las proteínas es en fibrosas o globulares, según su forma tridimensional. Las proteínas fibrosas consisten en cadenas de polipéptidos, arregladas lado a lado en largos filamentos, por lo que tienen una estructura resistente y son insolubles en agua. Las proteínas globulares suelen estar enrolladas en formas semiesféricas y compactas, éstas son solubles en agua y se mueven dentro de las células (McMurry, 2006).

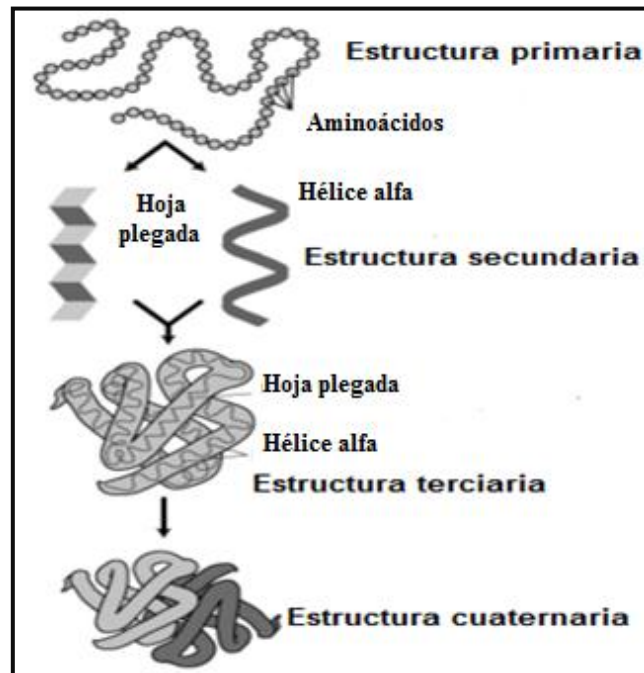


Figura 1.10. Niveles de estructura de las proteínas (McMurry, 2006).

c) Desnaturalización de las proteínas

Las proteínas como emulsificantes son preferidas para formular emulsiones alimenticias (aceite/agua) debido a que su superficie es activa y favorece la resistencia a la coalescencia. Las emulsiones estabilizadas por proteínas se ven afectadas tanto por las propias características moleculares de la proteína como por factores extrínsecos como el pH, la fuerza iónica, la temperatura, la presencia de emulsificantes de bajo peso molecular, la presencia de azúcares, polisacáridos, volumen de la fase oleosa, punto de fusión del aceite empleado, así como el tipo de equipo utilizado para formar la emulsión, velocidad de incorporación del aceite y el nivel de agitación. Si se desnaturaliza parcialmente la proteína

sin llegar a la insolubilización, generalmente se logrará una mejora de las propiedades emulsificantes pues se incrementan la flexibilidad molecular y la hidrofobicidad superficial lo que favorece a la formación de películas altamente viscoelásticas en la interfase aceite/agua (Badui, 2006).

Las atracciones intermoleculares débiles conservan con delicadeza la estructura terciaria de una proteína globular. Con frecuencia, un ligero cambio en la temperatura o en el pH altera la estructura terciaria y causa que la proteína se desnaturalice. La desnaturalización ocurre en condiciones tan suaves que la estructura primaria permanece intacta, pero la estructura terciaria se desdobra de una forma globular específica a una cadena enrollada al azar (Figura 1.11). La desnaturalización va acompañada por cambios en las propiedades físicas y biológicas además de que la solubilidad disminuye (McMurry, 2006).

Ciertas proteínas ya están desplegadas en el estado nativo (monómeros de caseína) lo que explica su estabilidad frente a ciertos agentes desnaturalizantes, incluido el tratamiento térmico. La desnaturalización puede ser reversible o irreversible. Cuando a la conformación de la proteína contribuyen enlaces disulfuro, si se rompen éstos, la desnaturalización suele ser irreversible. La susceptibilidad de una proteína a la desnaturalización depende de la tendencia a que los agentes desnaturalizantes rompan los enlaces que estabilizan las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria de las proteínas. Como estas estructuras son distintas en las diferentes proteínas, los efectos de los agentes desnaturalizantes varían según la proteína que se trate (Fennema, 1993).

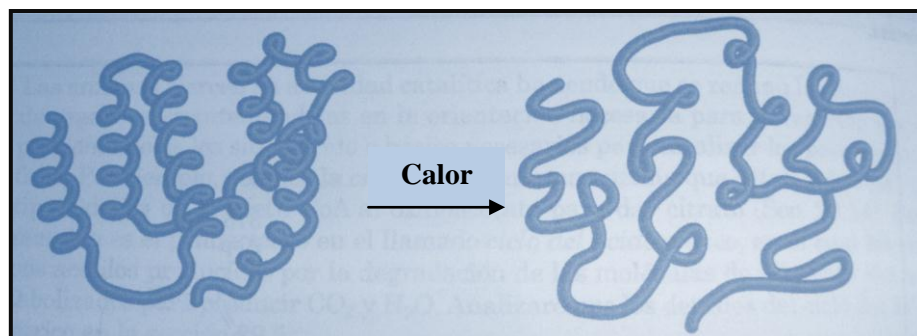


Figura 1.11. Representación esquemática de la desnaturalización de una proteína. Una proteína globular pierde su forma tridimensional específica y se enrolla al azar (McMurry, 2006).

Los agentes desnaturizantes pueden ser: agentes físicos (calor, frío, tratamientos mecánicos, presión hidrostática, irradiación, interfases), agentes químicos (ácidos y álcalis, metales, disolventes orgánicos, disoluciones acuosas de compuestos orgánicos) o agentes energéticos de la desnaturización (Fennema, 1993). A continuación se describen algunos agentes desnaturizantes físicos:

Calor. La velocidad del proceso de desnaturización depende de la temperatura, en el caso de la desnaturización proteínica, la velocidad aumenta 600 veces por cada 10 °C en el intervalo típico de la desnaturización, a consecuencia de la escasa energía de las interacciones que estabilizan a las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria. La susceptibilidad de las proteínas a la desnaturización por el calor depende de numerosos factores, como la naturaleza de la proteína, la concentración de la misma, la actividad de agua, el pH, la fuerza iónica y la naturaleza de los iones presentes. Esta desnaturización va muy frecuentemente acompañada de un descenso de la solubilidad de la proteína, debido a la exposición de los grupos hidrófobos y a la agregación de las moléculas proteínicas desplegadas y de un incremento en la capacidad de absorción de agua de las proteínas.

Frío. Las bajas temperaturas desnaturizan a algunas proteínas y éstas pueden formar agregados o precipitar cuando son sometidas a temperaturas de refrigeración ($7\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$). Las proteínas con estructuras dependientes de interacciones hidrofóbicas son susceptibles de desnaturizarse a bajas temperaturas, por lo que no son frecuentes en los vegetales y en los animales tolerantes al frío (Fennema, 1993).

Desnaturización en interfases. Las proteínas para ejercer su función emulsionante siguen un mecanismo el cual consiste en tres etapas. La primera consiste en su transporte convectivo desde la fase continua a la interfase, la segunda en su adsorción en la interfase y la tercera en una reorganización de su estructura en la interfase, que recibe el nombre de desnaturización superficial (Hill, 1998).

d) Propiedades funcionales de las proteínas

Las propiedades funcionales de las proteínas, son propiedades fisicoquímicas que le permiten contribuir a las características deseadas de un alimento, y éstas pueden clasificarse en tres grupos principales:

Propiedades de hidratación. Dependen de las interacciones proteína-agua e incluye propiedades tales como la absorción de agua, capacidad de humectación, capacidad de retención de agua, adhesividad, dispersabilidad, solubilidad y la viscosidad como propiedad hidrodinámica (Cheftel, 1989).

Propiedades relacionadas con la interacción proteína-proteína. Intervienen en fenómenos tales como la precipitación, gelificación, formación de estructuras diferentes como fibras, películas, la adhesión y la cohesión (Cheftel, 1989).

Propiedades de superficie. Se refiere a la tensión superficial de emulsificación. Dependen en forma importante de la composición superficial de la proteína, puesto que de acuerdo a la misma dependerá la capacidad de ligar grasas y sabores (Badui, 2006).

En realidad, estos grupos de propiedades están interrelacionados; por ejemplo, la gelación involucra no solamente interacciones proteína-proteína sino también proteína-agua, en tanto la viscosidad y la solubilidad dependen de las relaciones entre proteína-agua y proteína-proteína (Cheftel, 1989).

e) Propiedades interfaciales de las proteínas

Las proteínas al ser moléculas anfifílicas, pueden llevar a cabo la estabilización de emulsiones al migrar espontáneamente a la interfase agua-aceite puesto que su energía libre es menor en la interfase que en la zona acuosa. Las proteínas en la interfase forman películas altamente viscosas (Badui, 2006).

Las propiedades de actividad interfacial de las proteínas no dependen solo de la relación hidrofobicidad-hidrofilicidad, sino de la conformación de la proteína. En ello se debe considerar la relación de la estabilidad-flexibilidad de la cadena polipeptídica, la

adaptabilidad de los cambios en el medio ambiente así como los patrones de distribución de los grupos hidrofílicos e hidrofóbicos en la superficie de la proteína (Badui, 2006).

Las proteínas presentan en su superficie activa tres atributos deseables: (a) capacidad para adsorberse rápidamente en una interfase, (b) capacidad para desplegarse rápidamente y reorientarse en una interfase y (c) capacidad aún en la interfase para interactuar con moléculas vecinas y formar películas viscoelásticas (Badui, 2006).

Para estabilizar una emulsión, los dominios hidrofóbicos de la proteína deben orientarse hacia la fase oleosa. La facilidad con la que la proteína se despliegue (se desnaturalice) para exponer sus dominios hidrofóbicos afectará sus propiedades emulsificantes (Badui, 2006).

En una interfase, las propiedades polipeptídicas asumen una o más de tres diferentes configuraciones siguientes: lineal, lazos y colas (Figura 1.12). Las lineales están en contacto directo con la interfase, en tanto que las colas y lazos están suspendidos u orientados hacia la fase acuosa. Mientras más segmentos lineales haya, más fuerte es la unión y se disminuye la tensión interfacial (Badui, 2006).

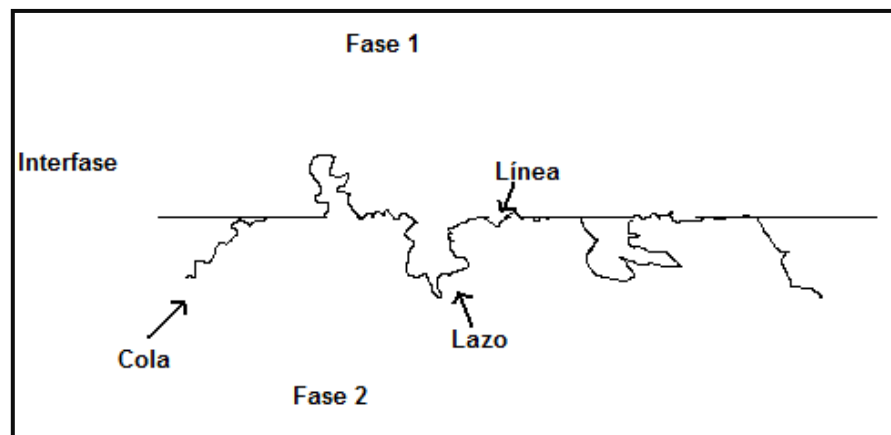


Figura 1.12. Distintas configuraciones de un polipéptido flexible en interfase (Badui, 2006).

La fuerza mecánica de una película de proteína en una interfase depende de las interacciones de cohesividad intermolecular, que pueden ser interacciones electrostáticas, puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas (Badui, 2006).

1.7 Estabilizantes (polisacáridos)

Se ha considerado polisacárido aquel polímero constituido por más de 10 monosacáridos unido por distintos enlaces glucosídicos; los de menos de 10 son los oligosacáridos. No producen verdaderas soluciones, sino más bien dispersiones de tamaño coloidal; puros no tienen color, aroma o sabor (Badui, 2006).

Los polisacáridos solubles en agua son polímeros de cadena larga en forma lineal o ramificada que tienen unidades glucosídicas que, como media, poseen tres grupos hidroxilos, por lo que forman puentes de hidrógeno con el agua, y por lo tanto, las partículas de polisacáridos pueden tomar las moléculas del agua, hincharse con ellas y solubilizarse total o parcialmente dando un carácter espesante y/o gelificante a la fase acuosa (Fennema, 1993).

De los hidratos de carbono contenidos en la mayoría de los tejidos animal y vegetal, los polisacáridos son los más abundantes; los azúcares libres generalmente están en una menor concentración. Interaccionan fuertemente con las proteínas en los sistemas biológicos lo cual determina muchas de las funciones celulares; la unión entre estos polímeros se efectúa principalmente por enlaces electrostáticos aún cuando pueden existir puentes de hidrógeno, hidrófobos y en ocasiones covalentes. Algunos de estos complejos forman geles cuando se enfrían después de su máxima hidratación y producen una estructura ordenada tridimensional en la que queda atrapada el agua (Badui, 2006).

1.7.1 Gomas

En sus orígenes este término era empleado para referirse a los productos de exudación de algunas plantas y árboles; sin embargo, en la actualidad su uso se ha extendido a un grupo muy amplio de polisacáridos de alto peso molecular que tienen la capacidad de actuar como espesantes y gelificantes y que además presentan algunas propiedades funcionales tales como la emulsificación, estabilización, entre otras (Badui, 2006).

El uso de las gomas en la industria alimentaria es muy amplio: en helados, confitería, jugos de frutas, cerveza, vinos, mayonesa, quesos, mermeladas, aderezos, embutidos, productos dietéticos, entre otros. En cada caso, las gomas desempeñan un papel muy característico

gracias a las propiedades funcionales que desarrollan como inhibidoras de la cristalización, emulsionantes, encapsulantes, formadoras de películas, agentes flocculantes, estabilizantes, agentes gelificantes, espesantes (Badui, 2006). Algunas de las gomas comúnmente utilizadas en alimentos y principalmente en cremas lácteas se describen a continuación.

Goma guar. Se obtiene del endospermo de la semilla leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus*, su estructura química está ramificada y la cadena principal consiste en unidades de β -D-manopiranosas unidas por enlaces $\beta(1,4)$ y a la cual se le añaden ramificaciones de α -D-galactopiranosas por enlaces $\alpha(1,6)$. La relación de monosacáridos es 2:1; es decir, en cada tercer D-manosa se localiza una D-galactosa. Su peso molecular es variado, pero el promedio se considera de 220 000. Carece de grupos ionizables, lo cual la hace inalterable a los cambios de pH, ya que es estable en el intervalo de 1.0 – 10.5, pero su máxima capacidad de hidratación se alcanza de pH de 7.5 – 9.0. Al hidratarse en agua fría forma dispersiones coloidales viscosas con características tixotrópicas (Badui, 2006).

Como consecuencia de su elevada afinidad con el agua, proporciona una alta viscosidad en sistemas acuosos o lácteos, incluso en dosis bajas, presentando un comportamiento fluidificante. Se utiliza principalmente como agente espesante con viscosidad en función de la temperatura. Puede usarse en una amplia gama de productos ya que permanece estable en un rango de pH entre 5 y 11. Presenta la ventaja de ser soluble en frío. Al calentarse, si los tratamientos térmicos son fuertes, pierde en parte su viscosidad. Es poco sensible a los efectos mecánicos y tiene buena resistencia a los ciclos de congelación–descongelación. Presenta muy buena estabilidad cuando los productos se almacenan a temperatura ambiente. Existe sinergismo entre la goma guar y la goma xantana. También puede encontrarse compatibilidad junto con almidones, proteínas, goma arábica, agar, alginatos, carrageninas, goma karaya, goma de algarrobo, goma garrofín, pectinas, metilcelulosa y carboximetilcelulosa (Cubero y col., 2002).

Carboximetilcelulosa (CMC). Forma parte de una familia de productos obtenidos por modificación química de la celulosa. Está compuesta por grupos carboximetil, enlazados a algunos grupos hidroxilos presente en polímeros de la glucopiranosas. Es

generalmente utilizada como espesante, estabilizante, gelificante y modificador de las características de flujo de soluciones acuosas o suspensiones (Pasquel, 2001).

En pequeños porcentajes de concentración, tiene la habilidad de absorber y retener grandes cantidades de agua no ligada, lo que produce buen cuerpo, textura tersa, derretimiento lento y resistencia a los choques térmicos en los productos resultantes. La viscosidad de las soluciones es dependiente de la temperatura. Cuando aumenta la temperatura, la viscosidad disminuye, y viceversa. El cambio de la viscosidad con la temperatura es reversible y no tiene efecto permanente en las características de viscosidad de la solución. Las soluciones son bastante estables dentro de un rango de pH entre 5 y 10, con la mejor estabilidad a un pH de 7 a 9 (Ingeniería y Desarrollo Alimentario, S.A. de C.V. <http://www.ideal-sa.com>).

Goma xantana. Heteropolisacárido ramificado sintetizado por diferentes especies de bacterias *Xanthomonas*, principalmente *campestris*. Formado por residuos de D-glucosa, D-manosa y ácido D-glucurónico en una relación molar de 2.8:3:2; también contiene aproximadamente 4.7% de grupos acetilo y 3.5% de ácido pirúvico. Su peso molecular es superior a un millón. Es soluble en agua fría o caliente y forma soluciones muy viscosas estables al calor y con sales en un pH de 6 a 9 (Badui, 2006).

La xantana es soluble en agua y leche en frío, teniendo un efecto espesante de características no tixotrópicas y alta pseudoplasticidad (fluidifica al aplicarle una fuerza de cizalla a causa de un progresivo alineamiento de las moléculas rígidas). Esto quiere decir, que tras una deformación cizallante intensa, la viscosidad inicial se recupera instantáneamente. Durante el reposo y hasta una cierta tensión cizallante se comporta como un medio sólido debido a su estructura matriz de microgel. Se le considera también un agente de control reológico en sistemas acuosos y como estabilizante de emulsiones y suspensiones. Su viscosidad está muy poco influenciada por la temperatura, ya que después de tratamientos térmicos, como esterilización o pasteurización, se recupera una vez enfriada. Tampoco experimenta cambios de textura después de conservarse a temperaturas de refrigeración o a temperatura ambiente. Es bastante estable a los tratamientos mecánicos y tiene muy buena resistencia a los ciclos de congelación-descongelación. Es sinérgica con la goma de algarrobo, obteniéndose estructuras de gel elástico y muy cohesionado, y

también con la goma guar, en este caso aumentándola viscosidad del producto (Cubero y col., 2002).

Carrageninas. Entre los polisacáridos sulfatados, la carragenina ocupa el primer lugar en cuanto a su uso dentro de la industria alimentaria. La mayoría de los polisacáridos sulfatados provienen de algas marinas rojas, del género *Chondrus crispus*. Las diferentes fracciones de la carragenina, designadas con las letras griegas κ , λ , ι y θ , tienen una forma química similar que consiste en unidades de D-galactosa unidas por enlaces glucosídicos $\alpha(1,3)$ y $\beta(1,4)$ alternadamente; se diferencian entre ellas por la concentración de los azúcares anhidros 3,6-anhidro-D-galactosa que contengan y por la posición en que se encuentren los grupos sulfato en la molécula D-galactosa. Los pesos moleculares varían entre 500 000, la forma natural en la planta marina y 100 000, que es la carragenina comercial más usada en la elaboración de alimentos. Es usada como gelificante, espesante, estabilizante, y emulsionante. Al dispersarse en agua se hincha y requiere de un ligero calentamiento para que se disuelva; la solución resultante presenta una viscosidad baja a temperaturas superiores a 60 °C, pero al enfriarse forma un gel, cuya rigidez depende de la concentración del polímero y de la cantidad de iones potasio, amonio o calcio que contengan (Badui, 2006).

Es un hidrocoloide con propiedades gelificantes extremadamente marcadas. El proceso de formación de geles por acción de las carrageninas se da durante el enfriamiento de la solución una vez que se ha solubilizado completamente a la temperatura que lo requiera.

De una manera general, la actividad de los diferentes tipos de carrageninas se ve influida por diversos parámetros (Cubero y col., 2002):

- Los carragenatos iota forman geles en presencia de iones calcio.
- El poder de gelificación de todas las carrageninas, en especial de la Kappa, es mucho mayor en leche debido a su interacción con la caseína.
- Se requiere una menor concentración en leche que en agua para obtener geles de textura similar.

Goma de algarrobo. Heteropolisacárido extraído del endospermo de las semillas de árbol *Ceratonia siliqua* de la familia de las leguminosas. Su estructura química corresponde

a una galactomanana formada por una cadena de moléculas de D-manosas unidas por enlaces (1,4), a la cual se le unen varias ramas de D-galactosas a través de enlaces (1,6) cada 4 o 5 manosas. Se dispersa en agua fría o caliente formando un sol que puede convertirse en un gel. Sus disoluciones son estables en un intervalo de pH de 3 a 10 (Badui, 2006).

Se solubiliza totalmente a 80 °C. Básicamente actúa como espesante, con un comportamiento pseudoplástico, aumentando la viscosidad de sistemas acuosos o lácticos. Tiene buena resistencia a tratamientos a altas temperaturas y, al enfriarse, su viscosidad depende de la temperatura. Es poco sensible a los efectos mecánicos y tiene buena resistencia a los ciclos de congelación-descongelación. Es sinérgica con la k-carragenina y con la goma xantana, dando geles elásticos y cohesionados. Se aplica en una amplia gama de sistemas alimenticios como estabilizante o agente espesante y en algunos sistemas gelificados como modificador de textura (Cubero y col., 2002).

1.8 Textura

1.8.1 Definición. La palabra *textura* deriva del latín *textura*, que significa tejido, y que originalmente se tomó en referencia a la estructura, sensación y apariencia de los tejidos. La textura se define como todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles, visuales y auditivos. La textura de los alimentos está relacionada con las propiedades físicas y químicas, percibidas por vía ocular antes del consumo, por el sentido del tacto al manejar el alimento, por distintos receptores sensoriales de la boca durante el consumo y por el sentido del oído (Lewis, 1993).

La textura es una mezcla de los elementos relativos a la estructura del alimento y a la manera por la cual están relacionados con los sentidos fisiológicos y se puede decir que posee ciertas características (Roudot, 2004):

- Se trata de un grupo de propiedades físicas que derivan de la estructura del alimento;
- Están relacionadas con la mecánica y la reología;

- No se trata de una propiedad sino de un conjunto de propiedades;
- No está directamente relacionada con el olor y o el gusto
- Actualmente la textura se evalúa de forma sensorial o instrumental.

Se pueden aplicar tres tipos de ensayos: fundamentales, empíricos e imitativos (Roudot, 2004), los cuales se describen a continuación.

a) Ensayos fundamentales. Están basados sobre teorías físicas perfectamente contrastadas en el dominio de los materiales clásicos, es decir, están ligados a fundamentos teóricos ampliamente desarrollados, y así poder extenderse fácilmente por transferencia de métodos de un campo científico dado.

b) Ensayos empíricos. Estos no tienen ninguna base científica real. Están basados únicamente en la intuición del manipulador, incluso no están estrictamente definidos, y son modificables a voluntad de un día a otro o de un experimentador a otro. Este empirismo hace que los resultados de estos ensayos se puedan correlacionar mejor con las pruebas de análisis sensorial, en consecuencia no se pueden alcanzar más que interpretaciones muy vagas.

c) Ensayos imitativos. Estos intentar recrear, de un modo experimental, la práctica real efectuada sobre los productos, es decir, modelar un fenómeno por un método que es el más cercano posible. En estos ensayos no se mide una característica del producto sino una característica ligada a la vez al producto y al instrumento de medida.

1.8.2 Tipos de pruebas instrumentales de textura

Para la evaluación de las propiedades mecánicas de los alimentos se pueden realizar pruebas instrumentales, las cuales se pueden clasificar como: fundamentales, empíricas, o imitativas. En las fundamentales hay un cambio mínimo en las propiedades de la muestra ya que el material sigue conservando su estructura y los resultados dependen sólo del material y no del método empleado. En las pruebas empíricas e imitativas los resultados son función del instrumento, método, geometría y la muestra, además de que estas pruebas son destructivas u ocasionan cambios importantes en su estructura y tienen mayor relación con la forma en que el consumidor juzga a los alimentos. La orientación del material, el

dispositivo utilizado y el procedimiento, influyen en los resultados obtenidos, estas pruebas miden propiedades bajo condiciones similares a las que son sometidos los alimentos durante su preparación, manejo y consumo (Casas y col., 2001). En la Figura 1.13 se muestran las propiedades mecánicas que pertenecen a la parte de textura y reología.

1.8.3 Tipos de prueba que se pueden efectuar en un texturómetro

En los años de 1930 a 1965 se desarrollaron una amplia variedad de instrumentos empíricos e imitativos para la evaluación de las propiedades texturales de ingredientes (grentina, pectina), vegetales, carnes frescas y productos procesados. Con el surgimiento de los texturómetros, analizadores de textura o máquinas de deformación esos primeros instrumentos han sido gradualmente desplazados.

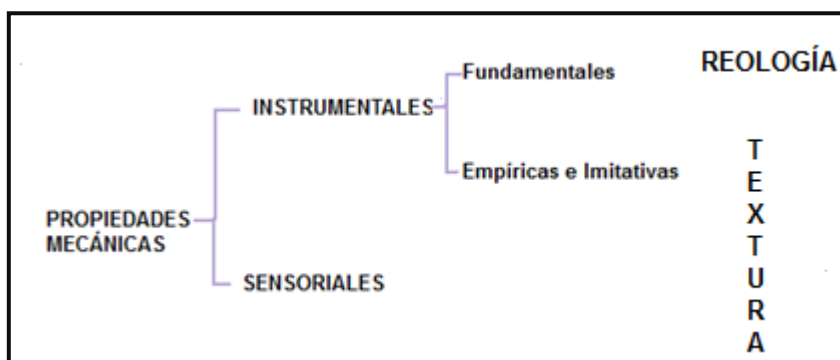


Figura 1.13. Clasificación de las propiedades mecánicas en relación con la reología y textura (Casas y col., 2001).

Actualmente los texturómetros son instrumentos muy versátiles operados por computadora, que realizan una amplia variedad de pruebas en productos alimenticios, farmacéuticos, materiales de envase, productos de la metalurgia y construcción. Miden y/o controlan fuerza, distancia y tiempo, operando a velocidades variables ya sea en tensión o compresión y tienen una gran variedad de dispositivos de uso general (conos, placas, cilindros, agujas, cuchillas de corte) y para pruebas muy específicas.

a) Pruebas globales de textura: el perfil de textura se considera una prueba global porque proporciona una descripción global de la textura y arroja como resultado los parámetros texturales (dureza, trabajo de penetración, estiramiento, trabajo adhesivo, trabajo cohesivo, fuerza adhesiva, adhesividad) que se encuentran descritos sensorialmente (Casas y col., 2001).

b) Pruebas específicas de textura: son aquellas que proporcionan información más detallada sobre una característica textural, utilizando dispositivos específicos en función a la característica a evaluar. La forma de realizar la prueba (dispositivo, velocidad) está relacionada con acciones efectuadas sobre el alimento durante su manejo, proceso, compra, preparación, y consumo (corte, punción, extrusión, tensión, untabilidad, adhesividad) o son creadas en forma arbitraria para evaluar determinada propiedad (fractura, grados Bloom) (Casas y col., 2001).

c) Pruebas para cuantificación de comportamiento viscoelástico: son pruebas que cuantifican el comportamiento viscoelástico sin obtener parámetros fundamentales y no necesariamente dentro del intervalo de viscoelasticidad lineal: creep o fluencia, relajación, compresión uniaxial (Casas y col., 2001).

De esta manera, los texturómetros actuales además de efectuar la prueba típica del perfil de textura, efectúan múltiples pruebas (penetración, corte, extrusión negativa, determinaciones puntuales de dureza, adhesividad, fuerza de gel, entre otros) (Casas y col., 2001).

1.8.4 Prueba de adhesividad por penetración y retirada

Esta prueba consiste en penetrar la muestra a una cierta distancia y velocidad con un dispositivo, el cual se retira a una distancia y velocidad mayor. Se realiza cuando se desean obtener resultados detallados de las propiedades adhesivas y puede ser que la información aportada por otras pruebas como el perfil de textura no sean lo suficientemente sensibles (ver Figura 2.6 apartado 2.4.3).

Esta prueba se utiliza en materiales semisólidos ya que la adhesividad de los productos se puede manifestar cuando se quedan pegados a los equipos, a los dedos o a las partes de la boca. La adhesividad comúnmente es vista como un atributo negativo en los alimentos, pero en algunos productos, cierto nivel de adhesividad no solo es tolerable sino deseable.

1.9 Reología

Ha sido definida como la deformación de los materiales bajo la influencia de las fuerzas aplicadas a ellos. Los sólidos como los líquidos pueden verse sometidos a un gran número de diferentes tipos de fuerzas (Lewis, 1993). La reología estudia la relación entre las fuerzas ejercidas sobre un material y la deformación resultante como una función del tiempo (Rosenthal, 2001).

1.9.1 Clasificación del comportamiento reológico

Existen diferentes criterios para establecer la clasificación de los materiales en base a su comportamiento reológico. La manera más general de clasificar el comportamiento de los materiales los divide en tres categorías (García-Rejón, 1981):

- i) Sólido de Hooke
- ii) Materiales viscoelásticos
- iii) Fluido newtoniano

En el líquido ideal o comportamiento viscoso los materiales empiezan a fluir a una cierta velocidad cuando se aplica un esfuerzo al material, y después de eliminar el esfuerzo, mantienen la forma que tenían cuando se ha eliminado el esfuerzo. Los materiales que tienen un comportamiento elástico o sólidos ideales se deforman inmediatamente en cierta extensión cuando se aplica un esfuerzo y se recuperan su forma original una vez que el esfuerzo se ha eliminado (Rosenthal, 2001).

Tanto el comportamiento sólido de Hooke como el comportamiento de fluido newtoniano, son casos ideales, pero muchos de los sistemas alimenticios se encuentran entre estos dos y quedan incluidos dentro del comportamiento viscoelástico, que se describe a continuación.

1.9.2 Viscoelasticidad

Un material viscoelástico es aquel que muestra propiedades tanto viscosas como elásticas (Figura 1.14) y en este tipo de materiales cuando cesa la fuerza de cizalla, la deformación del material no disminuye inmediatamente hasta cero.

Las propiedades viscoelásticas de un material pueden ser descritas por viscoelasticidad lineal y no lineal. Las propiedades de un material viscoelástico lineal dependen solo del tiempo y no de la magnitud del esfuerzo o deformación aplicados. Esto significa que la relación esfuerzo–deformación y su derivada con el tiempo siempre es lineal, sin importar sus magnitudes. Por el contrario, el comportamiento no lineal significa que las propiedades viscoelásticas del material son una función no solo del tiempo sino también de la magnitud del esfuerzo y deformación aplicada (Adán, 2008).

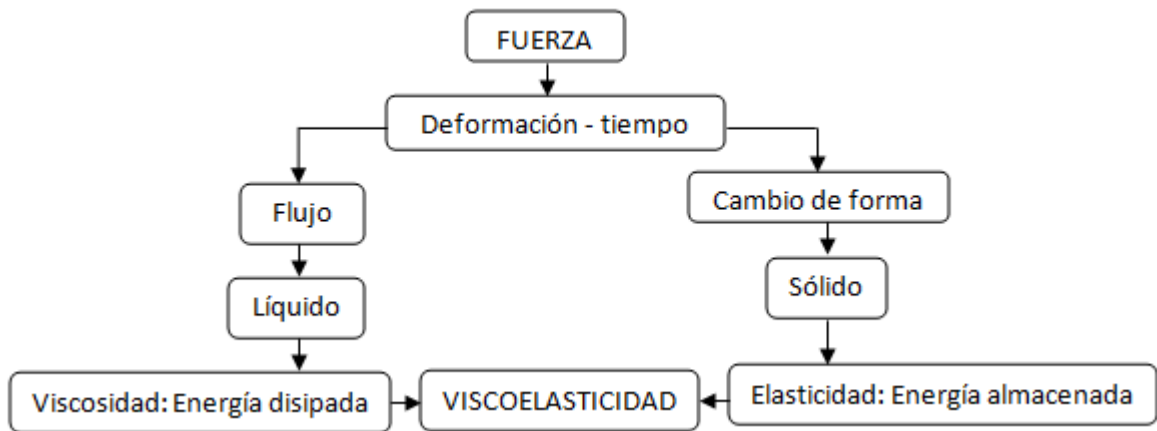


Figura 1.14. Variables involucradas en la evaluación del comportamiento mecánico (Casas y col., 2001).

a) Viscoelasticidad lineal

La mayoría de las mediciones viscoelásticas se realizan en la región lineal, la viscoelasticidad lineal se ha estudiado en mayor medida por varias razones (Tecante, 2005; Barnes y col., 1989, citado en Adán, 2008):

- La matemática es mucho más simple. En la teoría de la viscoelasticidad lineal las ecuaciones diferenciales son lineales y los coeficientes de las diferenciales de tiempo son constantes; estas constantes representan funciones del material tal como la viscosidad o el módulo elástico.
- Las características macromoleculares de un material dado se pueden interpretar correlacionándolas con su respuesta reológica, la cual se determina bajo condiciones donde el esfuerzo o la deformación son suficientemente pequeños para que el material no modifique significativamente su estado de equilibrio.
- La viscoelasticidad lineal proporciona las bases para la viscoelasticidad no lineal.
- Muchas situaciones de ingeniería ocurren bajo condiciones de flujo inestable, en las cuales la respuesta elástica del material se vuelve importante.

La teoría matemática de la viscoelasticidad lineal se basa en el principio de superposición de Boltzman el cual plantea que existe una proporcionalidad directa a cualquier tiempo entre la perturbación ejercida sobre el material y su respuesta resultante. Si la perturbación es el esfuerzo, la respuesta es la deformación y viceversa. En la práctica es necesario determinar la zona lineal del comportamiento viscoelástico, lo cual en algunos casos se localiza a esfuerzos o deformaciones extremadamente bajas, donde los datos son difíciles de obtener (Morrison y Ross, 2002, citado en Adán, 2008).

1.9.3 Métodos experimentales de medida de propiedades viscoelásticas

Existen pruebas donde se puede aplicar el estudio viscoelástico de los materiales para determinar la relación entre el esfuerzo, así como la deformación y el tiempo de respuesta. Estas se dividen en dos grandes categorías: métodos estáticos y pruebas dinámicas.

a) Métodos estáticos

Dentro de las pruebas más importantes se incluyen las de fluencia y las de relajación de esfuerzos. En la primera, se aplica un esfuerzo (par de torsión) constante durante un cierto tiempo y se mide la deformación producida en función del tiempo. En las pruebas de relajación de esfuerzos, se aplica una deformación que se mantiene constante durante cierto

tiempo y se cuantifica el esfuerzo requerido para mantener la deformación, en función del tiempo (Lapasin y Pricl, 1995, Rao y Steffe, 1992, citado en Adán, 2008).

b) Pruebas dinámicas

También conocidas como pruebas de cizalla oscilatoria de pequeña amplitud (“small amplitude oscillatory shear o SAOS, por sus siglas en inglés”), debido a que deformaciones pequeñas son empleadas para mantener un comportamiento viscoelástico lineal. En éste tipo de pruebas la muestra se somete a un movimiento oscilatorio sinusoidal causando niveles de esfuerzo que son transmitidos a través del material (Van Vliet, 2001). El esfuerzo o la deformación aplicadas oscilan sinusoidalmente con el tiempo, con una frecuencia angular, ω . Los ensayos dinámicos son muy adecuados para la caracterización con el tiempo de materiales viscoelásticos no alterados. Ambos componentes, el elástico y el viscoso, se pueden obtener en un amplio intervalo de escalas de tiempo. La última se puede variar mediante la variación de la frecuencia angular, ω (la escala de tiempo del experimento es aproximadamente $1/\omega$) (Rosenthal, 2001).

Para estas pruebas son útiles los reómetros con geometría de doble placa, cono y placa y los cilindros concéntricos colocándose el fluido de prueba en el espacio existente entre la unidad de medición (Van Vliet, 2001).

Además proveen un método no destructivo para determinar el comportamiento viscoso y elástico de los materiales y miden como respuesta la deformación o el esfuerzo que pueden estar en fase con la señal impuesta (sólido elástico ideal), desfasado 90° (fluido viscoso ideal) o desfasado entre $0 - 90^\circ$ (materiales viscoelásticos) (Figura 1.15). Los resultados son el módulo de almacenamiento G' (componente elástico), el módulo de pérdida G'' (componente viscoso) (Rao y Steffe, 1992).

Para un experimento en el que se aplica sinusoidalmente una deformación en cizalla (γ) con una frecuencia angular ω , la deformación viene dada por:

$$\gamma(t) = \gamma_o \text{sen}(\omega t) \quad (1.4)$$

En donde, γ_o es la amplitud máxima de deformación y ω [1/s] es la frecuencia.

El esfuerzo en función del tiempo se representa por:

$$\tau(t) = \tau_0 \text{sen}(\omega t + \delta) \quad (1.5)$$

Donde, τ_0 [Pa] es la amplitud máxima del esfuerzo y δ [rad] es el ángulo de desfase. Esta misma ecuación puede ser representada como la suma de los componentes, en fase con la deformación y 90° fuera de la fase con la deformación de la siguiente manera:

$$\tau(t) = \gamma_0 [G'(\omega) \text{sen} \omega t + G''(\omega) \cos \omega t] \quad (1.6)$$

Donde $G'(\omega)$ [Pa] es el módulo de almacenamiento o módulo elástico y $G''(\omega)$ [Pa] es el módulo de pérdida o módulo viscoso.

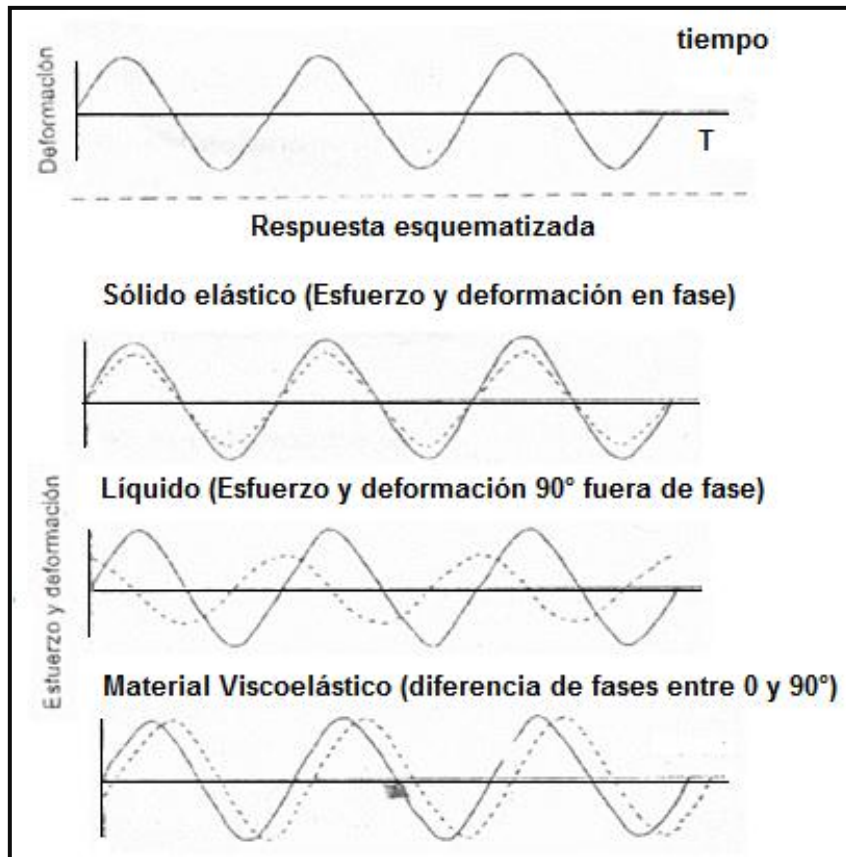


Figura 1.15. Curvas de una prueba oscilatoria en diferentes materiales en una prueba oscilatoria (Rao y Steffe, 1992).

En el caso de un sólido elástico ideal toda la energía es almacenada ($\delta=0^\circ$, $G^*=G'$ y $G''=0$) y la deformación estará en fase con el esfuerzo. Para un líquido ideal toda la energía se disipa como calor ($G'=0$, $G''=G^*$) y la deformación no estará fuera de la fase 90° con el esfuerzo (Figura 1.15).

En un material viscoelástico bajo deformación, el modulo complejo (G^*) se puede definir como:

$$G^* = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \quad (1.7)$$

$$\text{o bien } G^* = G'^2 + G''^2 \quad (1.8)$$

En donde G^* es una medida de la resistencia que presenta el material a la deformación.

El componente elástico en fase se puede definir como:

$$G' = G^* \cos \delta = \left(\frac{\tau_0}{\gamma_0}\right) \cos \delta \quad (1.9)$$

Y el componente viscoso fuera de la fase se puede definir como:

$$G'' = G^* \sin \delta = \left(\frac{\tau_0}{\gamma_0}\right) \sin \delta \quad (1.10)$$

$$\tan \delta = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} \quad (1.11)$$

En forma alternativa el modulo complejo puede definir a la viscosidad dinámica compleja (η^*) como:

$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega} \quad (1.12)$$

Es importante resaltar que si G' es más grande que G'' , el material se comportará como sólido, es decir, la deformación será mucho más elástica y recuperable. Sin embargo si G'' es más grande que G' parte de la energía usada para deformar el material se disipa de forma viscosa (Rao y Steffe, 1992).

Las principales ventajas de los ensayos dinámicos es que se puede determinar, en un intervalo de escalas de tiempo, la contribución de ambos componentes, el elástico y el viscoso, en la reacción de un material al que se le ha aplicado un esfuerzo o una deformación. La medición se debe realizar en la denominada región lineal; es decir, en la

región de deformación donde el esfuerzo es proporcional a la deformación (Rosenthal, 2001).

1.9.4 Determinación de la zona de viscoelasticidad lineal

a) Barrido de esfuerzo

Las pruebas oscilatorias proporcionan datos a cerca de un amplio intervalo de frecuencias; sin embargo, si parámetros fundamentales son requeridos, éstos deben ser restringidos para un comportamiento viscoelástico lineal. Esto puede ser verificado con una muestra, sometiénola a un incremento de la amplitud de oscilación a frecuencia constante, que puede ser un barrido de deformación o esfuerzo, dependiendo del tipo de reómetro que se emplee (Adán, 2008).

En la Figura 1.16 se puede observar que la amplitud de la onda o deformación aumenta conforme aumenta el tiempo y la frecuencia de las ondas se mantiene constante.

Esta prueba es para determinar el intervalo de viscoelasticidad lineal del material (Figura 1.17), en donde permanecen constantes los valores de G' y G'' , es decir que solo están en función del tiempo pero independientes de la magnitud del esfuerzo o deformación aplicados (Mitchell, 1980).

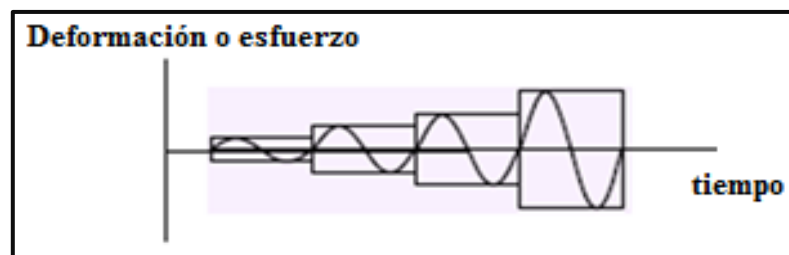


Figura 1.16. Barrido de esfuerzo o deformación (Moreno, 2006).

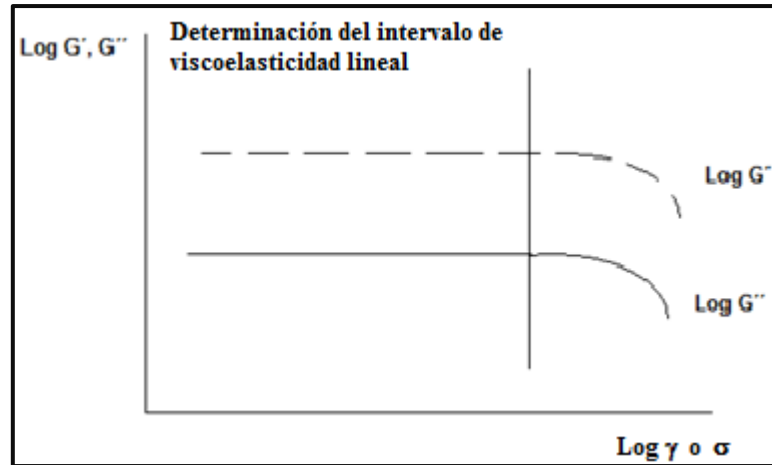


Figura 1.17. Materiales viscoelásticos: barrido de esfuerzo o deformación.

b) Barrido de frecuencia

Consiste en someter al material a un intervalo de frecuencia a una deformación o esfuerzo constante pero dentro de la zona de viscoelasticidad lineal, para así obtener el espectro mecánico del material. En la Figura 1.18 se puede observar que la deformación o amplitud permanece constante con respecto al tiempo y la frecuencia de las ondas aumenta.

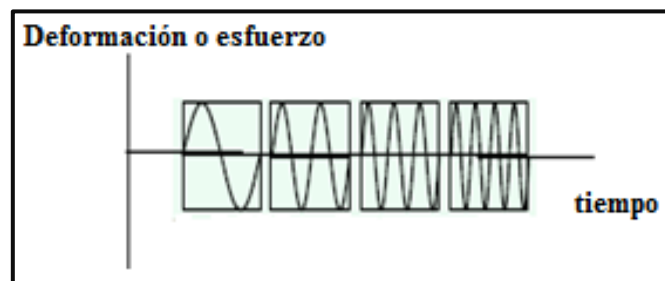


Figura 1.18. Barrido de frecuencia (Moreno, 2006).

Los materiales viscoelásticos presentan diferentes espectros mecánicos los cuales se pueden resumir en los siguientes (Mezger, 1991).

- **Materiales de bajo peso molecular y distribución cerrada del peso molecular.** Son sustancias de bajo peso molecular y tienen moléculas lineales de cadena corta con

pocos entrecruzamientos físicos. A frecuencias bajas $G'' > G'$ y se invierte el comportamiento a frecuencias altas predominando el módulo elástico (G') como se muestra en la Figura 1.19 (Mezger, 1991).

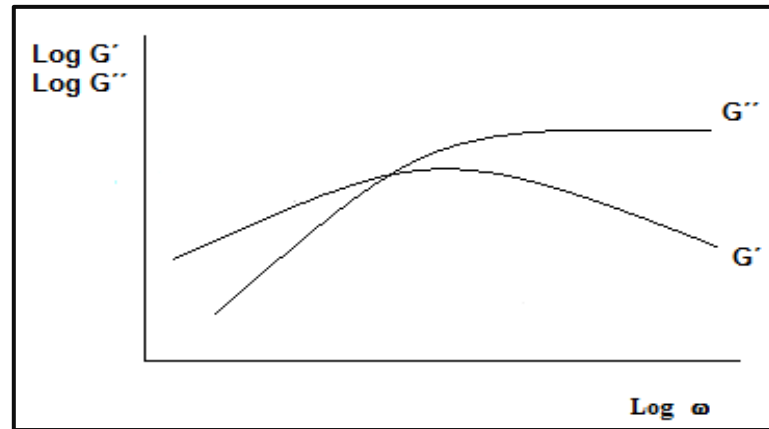


Figura 1.19. Espectro mecánico de una sustancia de bajo peso molecular (Mezger, 1991).

▪ **Sustancias con alto peso molecular y amplia distribución del peso molecular.**

En este tipo de materiales además de poseer moléculas de cadena corta se encuentran también cadenas largas lineales y ramificadas. Las grandes moléculas pueden llegar a enredarse enganchándose para formar redes temporales. Estos enlaces pueden deberse a fuerzas de interacción física que dan lugar a entrecruzamientos o enlaces químicos fijos. Con pequeños movimientos, estas moléculas tienen la posibilidad de deslizarse lentamente unas sobre otras.

El espectro mecánico característico de este tipo de materiales es similar al anterior pero G' presenta una meseta (Figura 1.20). Un alto valor en la meseta G' , indica una estructura fuerte (ejemplo de dos o más fuerzas que interactúan entre moléculas largas).

Una subida temprana de G'' a frecuencias pequeñas indica mayores tiempos de relajación de la muestra. Por esta razón un desplazamiento de la curva ascendente hacia la derecha indica macromoléculas pequeñas poco ramificadas.

Una subida de G' con pendiente pronunciada describe una distribución cerrada del peso molecular. Entre mayor sea la distribución de pesos moleculares altos y mayor la

proporción de pesos moleculares bajos, es mayor la dispersión de tiempos de relajación. Se puede observar en una pendiente menor de la curva de $G'(\omega)$ y en un punto máximo de la curva $G''(\omega)$ (Mezger, 1991).

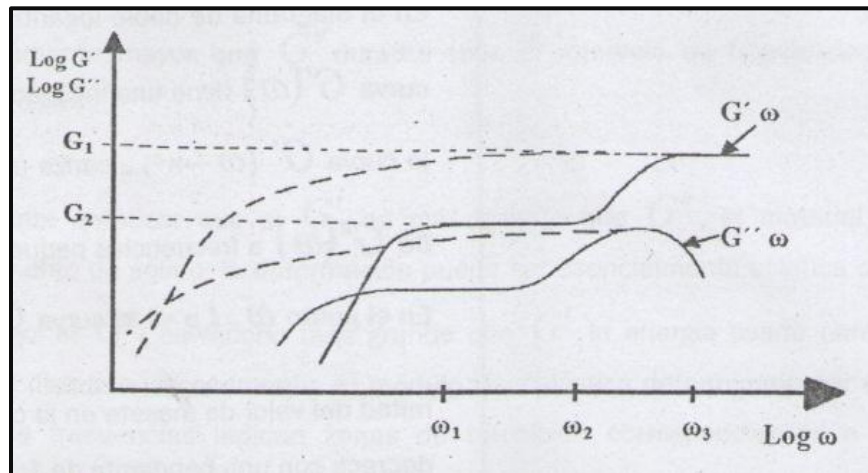


Figura 1.20. Espectro mecánico de sustancias de alto peso molecular (Mezger, 1991).

- Sustancias con dos fracciones con diferencia muy marcada de peso molecular, cadena con una distribución muy cerrada (con dos niveles de meseta).
- Sustancias con una amplia distribución de peso molecular.

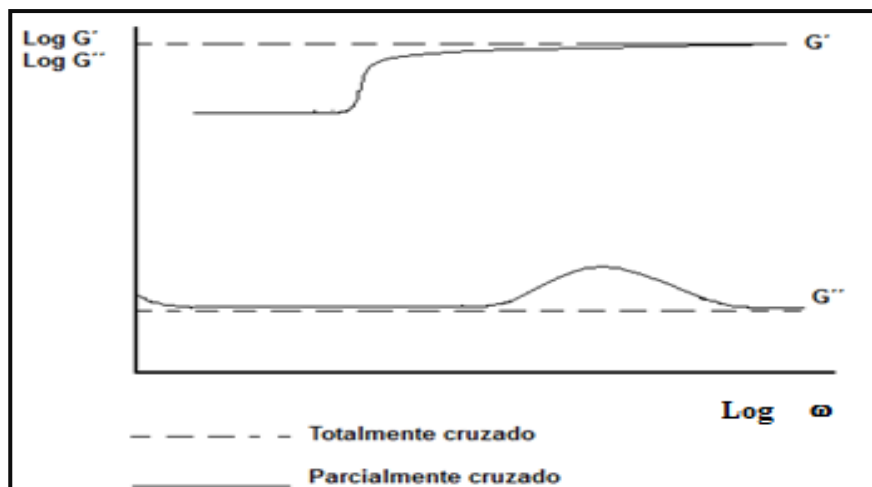


Figura 1.21. Espectro mecánico de sustancias con redes entrecruzadas (Mezger, 1991).

- **Materiales con entrecruzamientos fuertes.** Son consideradas sustancias que tienen enlaces químicos cruzados entre macromoléculas, estos puentes de redes son fijos con verdaderas uniones químicas. Esto tiene como consecuencia que no sea posible que las cadenas se resbalen unas con otras sin destruir las redes, porque están fijas en los puntos de unión de la red. Los materiales con enlaces totalmente entrecruzados no se pueden deformar más sin ser destruidos (Figura 1.21). G' es independiente de la frecuencia y G'' tiene el valor de cero (Mezger, 1991).

1.9.5 Instrumentos de medida

Existe una gran variedad de técnicas instrumentales de medida para determinar las propiedades reológicas de los materiales. Se puede distinguir tres clases principales de instrumentos: viscosímetros de tubo, instrumentos rotacionales e instrumentos de tensión-compresión. Los viscosímetros de tubo se pueden utilizar para determinar la viscosidad de los líquidos y de los materiales parecidos a éstos. Los instrumentos rotacionales son adecuados para estudiar las propiedades reológicas de líquidos y materiales que pueden solidificar en el reómetro. Los instrumentos de tensión-compresión es utilizado principalmente para determinar las propiedades de fractura o de gran deformación de los materiales predominantemente sólidos (Rosenthal, 2001). Entre estos se pueden citar los siguientes:

a) **Geometría de doble espacio anular.** En este tipo de geometrías también llamadas de cilindro concéntrico doble como se muestra en la Figura 1.23, la superficie final es muy pequeña comparada con la superficie total (Rosenthal, 2001). El volumen de muestra que se requiere en la punta del cilindro y la base del recipiente es muy pequeño y es especialmente útil cuando la disponibilidad de la muestra es baja o ésta es de muy baja viscosidad.

b) **Geometría de cono y placa.** Se trata de un viscosímetro que no necesita más que una pequeña cantidad de muestra para la medida. Debido a su tensión superficial, el líquido se mantiene entre una placa y un cono, de ángulo muy pequeño, situado muy cerca de la

placa y se aplica una velocidad de rotación a uno de los dos elementos (generalmente al cono) (Roudot, 2004), como se muestra en la Figura 1.22.

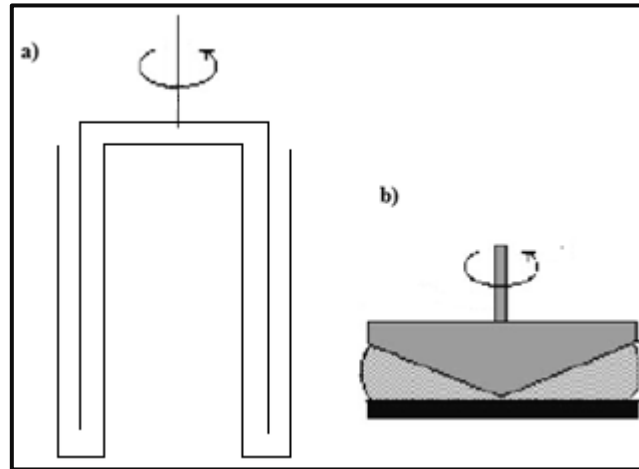


Figura 1.22. Geometría doble cilindro (a) y cono y placa (b) (Roudot, 2004) (Rosenthal, 2001).

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del aumento y disminución de temperatura (temperado) en tres tipos de cremas comerciales mediante los cambios en las propiedades reológicas, texturales y tamaño de partícula para relacionarlos con la composición de cada crema.

2.1.2 Objetivos particulares

a) Objetivo particular 1

Evaluar el efecto del temperado a 25 °C (iniciar con la crema a 7 °C, calentarla hasta 25 °C por 30 minutos y enfriarla nuevamente a 7 °C por 48 horas) en tres tipos de cremas comerciales sobre las propiedades reológicas, texturales y tamaño de partícula para relacionarlas con la composición de cada crema.

b) Objetivo particular 2

Evaluar el efecto del temperado a 12 °C (iniciar con la crema a 7 °C, calentarla hasta 12 °C por 30 minutos y enfriarla nuevamente a 7 °C por 48 horas) en tres tipos de cremas comerciales sobre las propiedades reológicas, texturales y tamaño de partícula para relacionarlas con la composición de cada crema.

2.2 Materiales

Los materiales que se usaron fueron tres tipos de cremas comerciales con distinto contenido de grasa y adición o no de emulsificantes y estabilizantes, así como el dodecil sulfato de sodio (SDS) para la prueba de tamaño de partícula. Las cremas Lyncott y natural fueron de dos lotes, uno para cada temperado, esto debido a que no tenían una vida de anaquel prolongada, mientras que la crema Lala y el dodecil sulfato de sodio fueron de un solo lote.

2.2.1 Crema para batir Lyncott

Esta crema se presenta en la Figura 2.1 y de acuerdo a la etiqueta contiene los siguientes ingredientes: crema de leche, estabilizador (goma guar, goma de algarrobo, carboximetil celulosa (CMC) de sodio y goma xantana), 30% de grasa butírica mínima, se muestra en la Cuadro 2.1.

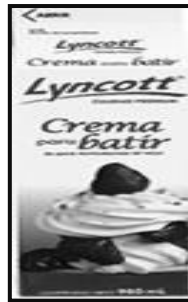


Figura 2.1. Crema para batir Lyncott.

2.2.2 Media crema Lala

Esta crema se presenta en la Figura 2.2 y de acuerdo a la etiqueta contiene los siguientes ingredientes: crema, goma guar, fosfato de sodio, citrato de sodio, carragenina y sal yodada. Es una crema ultrapasteurizada, por lo que es posible conservarla hasta 170 días sin refrigeración (una vez abierta es necesario refrigerarla). De sabor natural y con solo 20% de grasa (Ver Cuadro 2.1), su consistencia firme (cuando es refrigerada) o líquida (cuando queda a temperatura ambiente) (LALA®).



Figura 2.2. Media crema Lala.

Cuadro 2.1. Cuadro comparativo de la información nutrimental de la crema para batir Lyncott y la media crema Lala.

INFORMACIÓN NUTRIMENTAL		
	Crema para batir Lyncott Porción 100 mL	Media crema Lala Porción 100 g
Contenido energético	1 303.54 KJ (315.93 Kcal)	871 KJ (211 Kcal)
Proteínas	3 g	3 g
Grasa (lípidos)	31.33 g	20 g
Del cual:		
Grasa saturada	21.76 g	-
Carbohidratos	5.49 g	4.7 g
Del cual:		
Azúcares	4.01 g	-
Fibra dietética	0 g	-
Sodio	27.8 mg	71 mg
Calcio	-	82 mg

(Lyncott ®), (LALA®).

2.2.3 Crema natural

Esta crema se obtuvo del taller de lácteos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4. Ingredientes: crema de leche de vaca con 30% (en promedio) de grasa butírica. Sin emulsificantes ni estabilizantes.

2.2.4 Dodecil sulfato de sodio

Es un agente desnaturante que se une con frecuencia a las proteínas y las hace asumir una forma cilíndrica. En alimentos se usa como antiaglomerante (Voet y Voet, 2006). En este caso su función es la separación de flóculos antes de la determinación de tamaño de partícula, sin destruir los agregados de cristales parcialmente coalescidos. Se utilizó el SDS al 1%, una vez que se tiene el SDS a esa concentración se mezcla con la crema por partes iguales.

Sinónimos: Lauril Sulfato de Sodio, Dodecil Sodio Sulfato, Sodio Dodecil Sulfato, SDS, Monodecil Sodio Sulfato, SLS, Irium, Duponol, Monodecil Ester, Sal de Sodio. Su fórmula química es: $\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$ (WINKLER LTDA).

2.3 Actividad preliminar

1. Determinar las temperaturas a estudiar para el proceso de temperado (40, 25 y 12 °C) con una crema para batir Lyncott, realizando pruebas de reología, tamaño de partícula y textura, para posteriormente aplicar los temperados seleccionados a las cremas restantes (media crema Lala, crema natural) en la experimentación.

2.4 Métodos

A las cremas antes y después del temperado con 24 y 48 horas en almacenamiento se les realizaron las pruebas que a continuación se describen a una temperatura $7\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.

2.4.1 Temperado

Las cremas se trasladaron al laboratorio en recipientes con aislamiento térmico y se almacenaron en refrigeración ($7\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$) por 24 horas. Se sometieron a calentamiento en un baño (Grant Instruments, CB25QZ, England) a la temperatura de temperado (12, 25 o 40 °C). Una vez alcanzada (a una velocidad promedio de calentamiento de 0.89 °C/min.), se mantuvieron por 30 minutos a esta temperatura y se enfriaron nuevamente ($7\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ a una velocidad promedio de enfriamiento de 0.57 °C/min.). El temperado completo se muestra en la Figura 2.3.

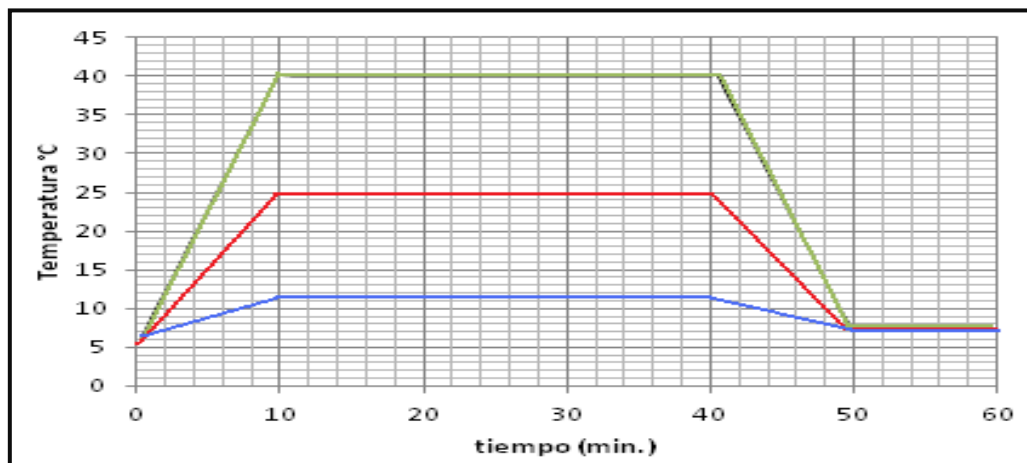


Figura 2.3. Perfil de temperaturas para las tres cremas comerciales.

2.4.2 Prueba de reología de cizalla oscilatoria

Esta prueba se realizó en un Reómetro HAAKE RT 20 (HAAKE, Alemania), con geometría de cono y placa ($d=60$ mm) para las cremas Lyncott y Lala (en donde se colocó una cubierta para mantener la humedad de la muestra y ésta no se reseca, con algodón húmedo en las paredes). Para la crema natural se utilizó una geometría de cilindros concéntricos de doble espacio anular DG4. Para la determinación de la zona de viscoelasticidad lineal se realizó un barrido de esfuerzo y para determinar que componente predomina si el elástico, G' , o el componente viscoso, G'' , se realizó un barrido de frecuencia.

Barrido de esfuerzo. Se realizó a la temperatura inicial y final del proceso de temperado, es decir a 7 °C, a una frecuencia de 1 Hz y con un intervalo de esfuerzo que dependió de cada crema. En la Figura 2.4 se muestra un ejemplo de un barrido de esfuerzo en donde se puede observar la zona de viscoelasticidad lineal que es el intervalo de esfuerzo en el cual G' y G'' se mantienen constantes y son independientes del esfuerzo.

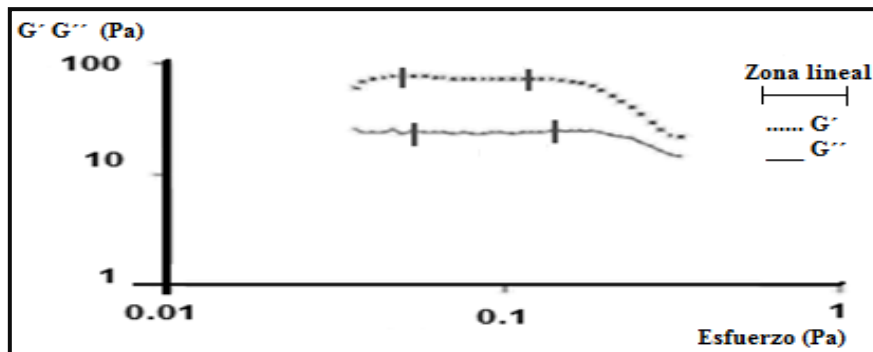


Figura 2.4. Barrido de esfuerzo (Moreno, 2006).

Barrido de frecuencia. Al igual que el barrido de esfuerzo, éste se realizó a una temperatura de 7 °C, con un intervalo de frecuencia de $0.01 - 8$ Hz y un esfuerzo que se determinó en el barrido de esfuerzo en donde se localizó la zona de viscoelasticidad lineal. Se obtuvieron gráficas de G' y G'' en función de la frecuencia como se muestra en la Figura 2.5.

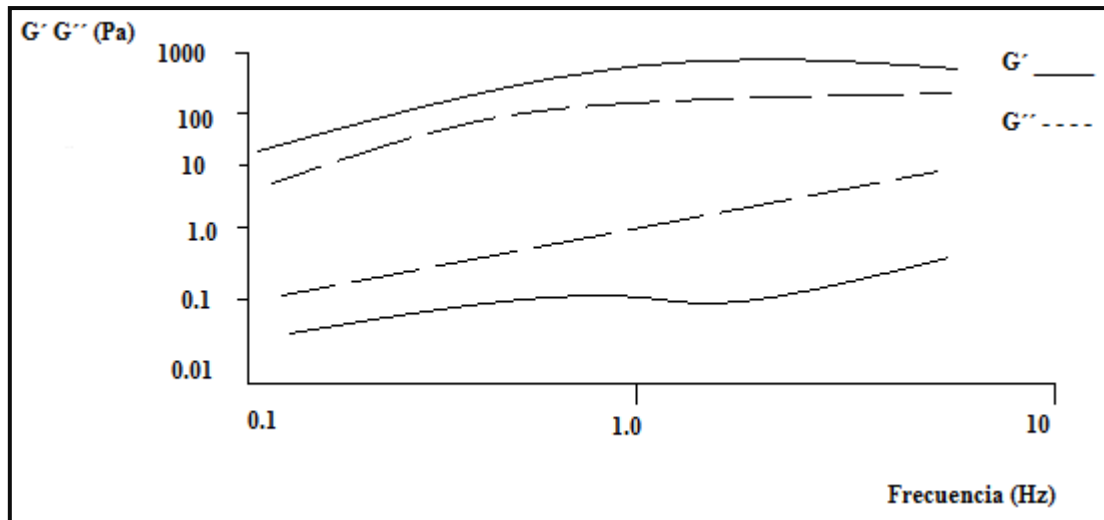


Figura 2.5. Barrido de frecuencia (Moreno, 2006).

Seguimiento del temperado en el reómetro. Se llevó a cabo en 3 etapas ya que se requería que las cremas pasaran de 7 °C a la temperatura de temperado (12, 25 o 40 °C), que se mantuvieran a esta temperatura por 30 minutos, y finalmente que disminuyeran hasta 7 °C. Las etapas son las siguientes.

Etapas 1. Oscilación en función de la temperatura. Una vez que la crema se colocó en el reómetro y alcanzó una temperatura de 7 °C, ésta se elevó a la temperatura de temperado (12, 25 o 40 °C) a frecuencia de 1 Hz (con 18 puntos) y el valor del esfuerzo fue el que se observó en el barrido de esfuerzos de cada crema.

Etapas 2. Oscilación en función del tiempo. Una vez alcanzada la temperatura de temperado (12, 25 o 40 °C), ésta se mantuvo por 30 minutos a una frecuencia de 1 Hz (con 30 puntos) y el valor del esfuerzo fue el de la etapa anterior.

Etapas 3. Oscilación en función de la temperatura. De la temperatura de temperado (12, 25 o 40 °C), la crema disminuyó su temperatura a 7 °C a una frecuencia de 1 Hz (con 18 puntos) y el valor del esfuerzo fue el mismo de las etapas anteriores.

Se realizaron 3 repeticiones para cada barrido y seguimiento del temperado en el reómetro.

2.4.3 Prueba de adhesividad por penetración y retirada

Se llevó a cabo en un Texturómetro TAX T2 (Stable Microsystems, Inglaterra). La crema se colocó en una caja Petri de 4.7 cm de diámetro y 1.5 cm de altura, se llenó hasta el ras con la crema y se colocó sobre la base del texturómetro, el dispositivo que en este caso fue un cilindro de acrílico de 1 pulgada de diámetro, bajó a una velocidad de 2 mm/segundo hasta que detectó la superficie de la muestra con una fuerza de contacto de 5 gramos y penetró hasta la mitad de la altura del recipiente donde estaba contenida, es decir, 7.5 mm, después se retiró a una distancia de 5 cm por encima de la muestra con una velocidad de 10 mm/segundo. Se realizaron 5 repeticiones para esta prueba a una temperatura de 7 °C (± 1 °C). En la Figura 2.6 se ilustra el movimiento del dispositivo durante la penetración y retirada.

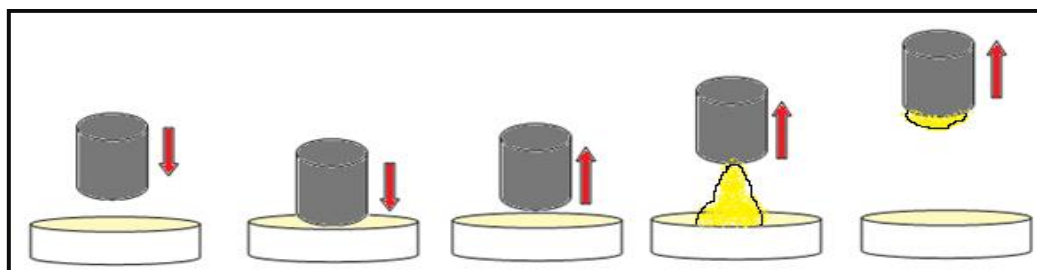


Figura 2.6. Prueba de adhesividad por penetración y retirada.

Durante esta prueba de adhesividad por penetración y retirada, se grafica la fuerza en función del tiempo (Figura 2.7) y se obtienen los siguientes parámetros. Dureza (D): es la fuerza máxima durante la penetración, Fuerza adhesiva (FA): es la fuerza máxima durante la retirada, Trabajo adhesivo (TA): parte izquierda del área negativa en la retirada del dispositivo, Trabajo cohesivo (TC): parte derecha del área negativa en la retirada del dispositivo, Adhesividad (A): área negativa de la curva, es decir, la suma de TA y TC y representa el trabajo necesario para retirar el dispositivo de la muestra, Estiramiento (E): abarca desde que comienza la retirada hasta que la muestra se despega por completo del dispositivo. La untabilidad se calcula con la ecuación 2.1. Para cada parámetro se calculó promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

$$\text{Untabilidad} = \frac{\text{Estiramiento}}{\text{Fuerza Adhesiva}} \quad (2.1)$$

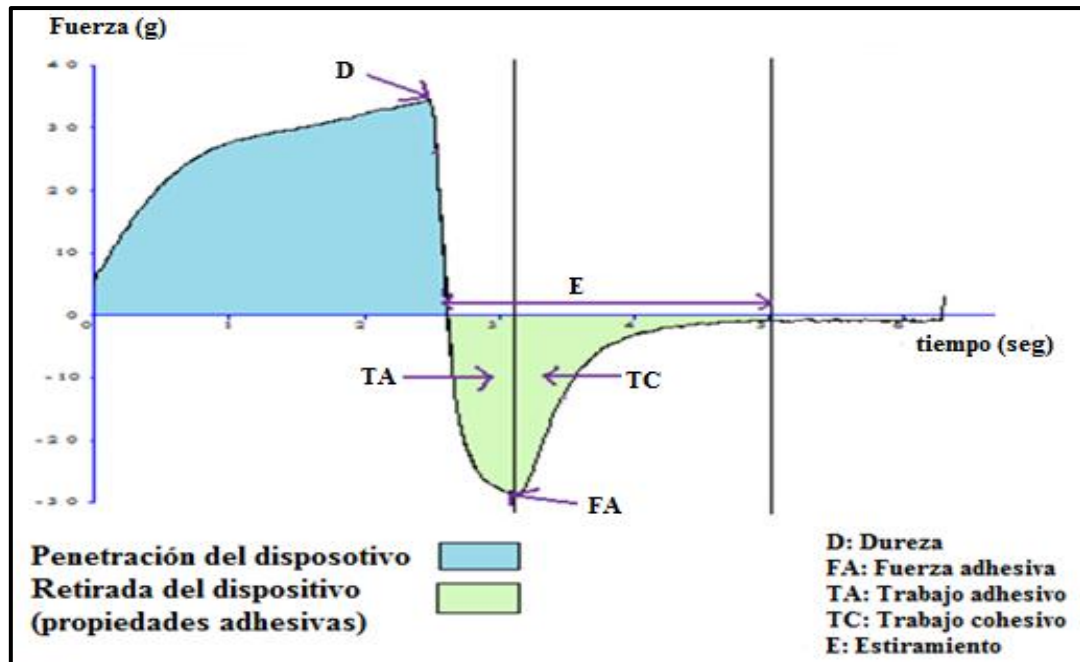


Figura 2.7. Curva de penetración y retirada (Casas y col., 2001).

2.4.3 Prueba de distribución de tamaño de partícula

Para esta prueba se utilizó un Granulómetro de rayo láser Cilas 930 LD (Cilas, Francia), el cual utiliza la dispersión estática de luz que permite determinar la distribución y tamaño de partícula de materiales. Consiste en la dispersión de la muestra en un líquido a través de una celda o acarreador con un sistema de recirculación de medición la cual es atravesada por el haz láser (Beristain, 2001).

Para el caso de la prueba antes del temperado, se mezcló a 7 °C la crema con SDS al 1% por partes iguales con la finalidad de disgregar los agregados (reversibles) de gotas de grasa eventualmente presentes en la muestra (Gravier y col., 2005). Se tomó la muestra con una pipeta de 10 mL para colocar las gotas necesarias en el equipo para que la obscuración estuviera entre el 10 y 30% y se inició la medición.

Para el caso de la prueba después del temperado con 24 y 48 horas de almacenamiento, se pesó la misma cantidad de crema y de SDS al 1% y se calentaron por separado en un baño hasta una temperatura de 60 °C, una vez alcanzada dicha temperatura se mezclaron con

agitación extremadamente baja (con ligeros movimientos en un vaso de precipitados) con el fin de evitar la fragmentación de los conglomerados de agregados, inducida por el flujo y que éstos se fundan en una sola gota.

A esta temperatura, la grasa se funde completamente y los agregados que comprenden gotitas parcialmente coalescidas son sometidos a una deformación bajo el efecto de la tensión superficial que genera gotas esféricas. Un grupo que contiene una cantidad de gotas, N_c , de diámetro promedio, D_c , después son transformadas por fusión en una sola gota de diámetro mayor que representa a los agregados de glóbulos coalescidos antes del calentamiento (Gravier y col., 2005).

Se obtuvo un diagrama de distribución de tamaño (x) y acumulativo ($Q3$) (Figura 2.8), así como diámetros a los cuales se tiene 10, 50 y 90% de acumulado, lo que es indicativo del tamaño de las partículas más pequeñas, medianas y más grandes contenidas en la muestra, además del diámetro promedio. De esta prueba se realizaron de 3 a 5 repeticiones a las cuales se les calculó promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

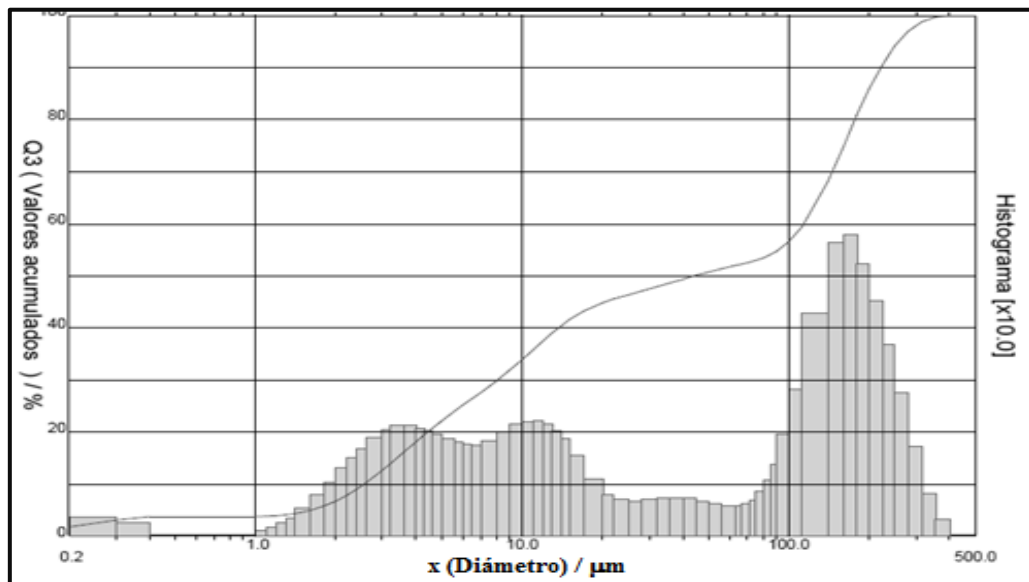


Figura 2.8. Curva de distribución de tamaño y porcentaje acumulado.

2.5 Análisis estadístico

Se analizaron los resultados por medio de un análisis factorial general, ya que se tienen dos variables, la crema con tres niveles de variación (Lyncott, Lala, natural) y el temperado con dos niveles de variación (12 y 25 °C que a su vez tienen 3 niveles de variación cada uno: antes del temperado, después del temperado con 24 horas en almacenamiento y después del temperado con 48 horas en almacenamiento).

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Actividad preliminar

1. Determinar las temperaturas a estudiar para el proceso de temperado (40, 25 y 12 °C) con una crema para batir Lyncott, realizando pruebas de reología, tamaño de partícula y textura, para posteriormente aplicar las temperaturas seleccionadas a las cremas restantes (media crema Lala, crema natural) en la experimentación.

3.1.1 Crema para batir Lyncott temperado a 40 °C

a) Pruebas reológicas antes y después del temperado a 40 °C

En la Figura 3.1, se presentan los barridos de frecuencia antes y después del temperado a 40 °C de la crema para batir Lyncott. Se observó el predominio del módulo viscoso (G'') y éste aumentó conforme aumentó la frecuencia. No se notó un cambio en los valores de los módulos antes y después del temperado. El esfuerzo en la zona lineal antes del temperado fue de 5 Pa.

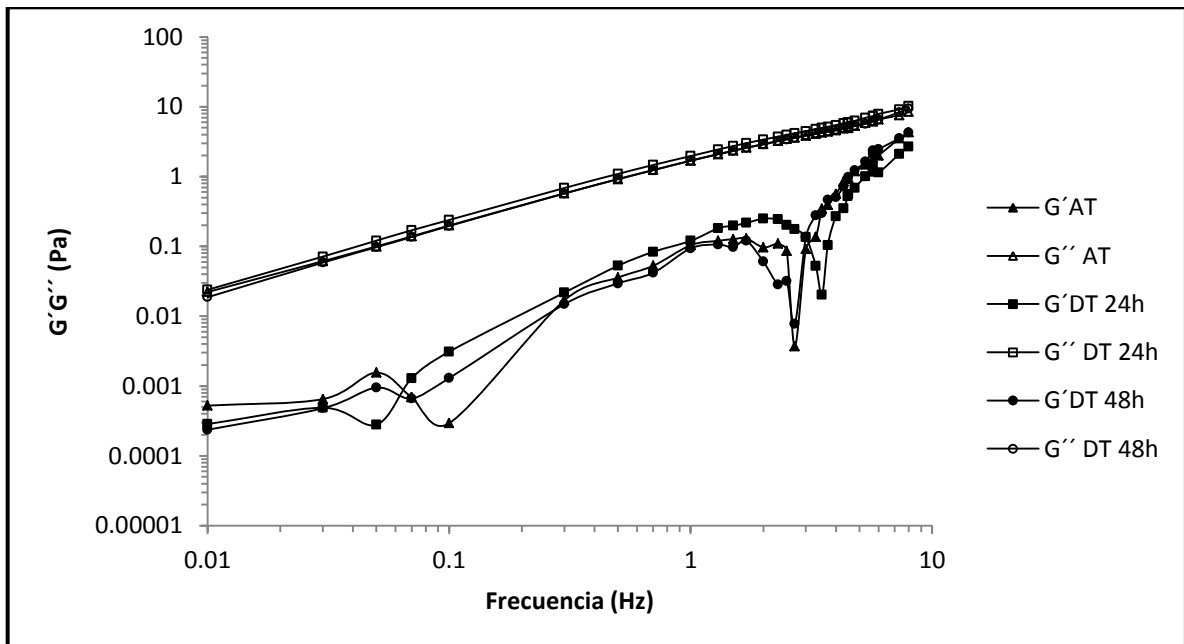


Figura 3.1. Barridos de frecuencia de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40 °C.

Se dio seguimiento a la crema temperada después de 24, 48, 96 y 144 horas de almacenamiento, para evaluar el aumento de la viscosidad con el tiempo, ya que en el barrido de frecuencia hasta las 48 horas no hubo aumento considerable de los módulos (G' y G'').

En la Figura 3.2 se observa que predominó el módulo viscoso (G'') y que no hubo cambios en los módulos con más días de almacenamiento después del temperado ya que las curvas fueron muy similares y esto se atribuyó a que la temperatura de 40 °C a la que se realizó el temperado fue muy alta, por lo que a esa temperatura los glóbulos de grasa se fundieron completamente dando lugar a la coalescencia total, ya que no hubo materia cristalina y no se formaron agregados de grasa coalescida parcialmente durante el almacenamiento en refrigeración.

Estos resultados fueron concordantes con los reportes de Mutho y col. (2001) en estudios realizados con cremas elaboradas con proteínas lácteas, grasa vegetal y emulsificantes no proteínicos. Trabajos anteriores han evidenciado que para inducir la coalescencia parcial de las emulsiones tipo crema es fundamental que el tratamiento térmico produzca: i) la fusión de los cristales con menor punto de fusión, ii) enriqueciendo la fase lipídica en cristales de punto de fusión más elevado, lo cual se logra con una fusión parcial quedando un contenido de grasa sólida no inferior al 10% del total de grasa cristalizabile.

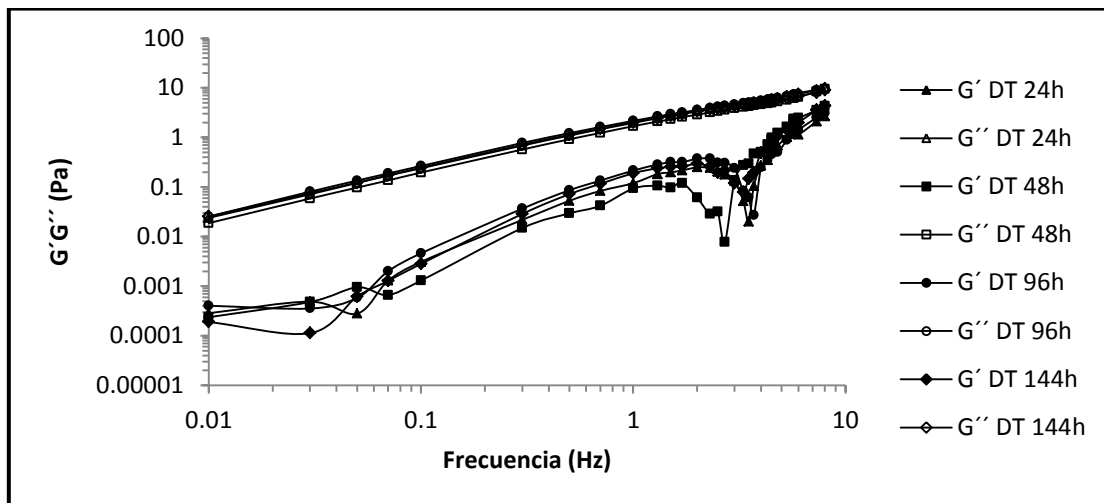


Figura 3.2. Barridos de frecuencia de la crema para batir Lyncott después del temperado a 40 °C con varios días en almacenamiento.

En la Figura 3.3 se presenta el seguimiento del proceso de temperado a 40 °C en el reómetro en donde se observa el predominio del módulo viscoso (G''). En la primera etapa a una temperatura de 23 °C aproximadamente, hay un aumento en ambos módulos y posteriormente disminuyeron al llegar a 40 °C y se mantuvieron constantes a esta temperatura. En la etapa de enfriamiento a una temperatura de 28 °C aproximadamente, el módulo viscoso empieza a aumentar, mientras que el elástico a 18 °C. Esto se verificó en la tabla de resultados de los módulos, tiempo y temperatura para asegurar que fueran las temperaturas correctas y posteriormente en la gráfica se puede observar esto.

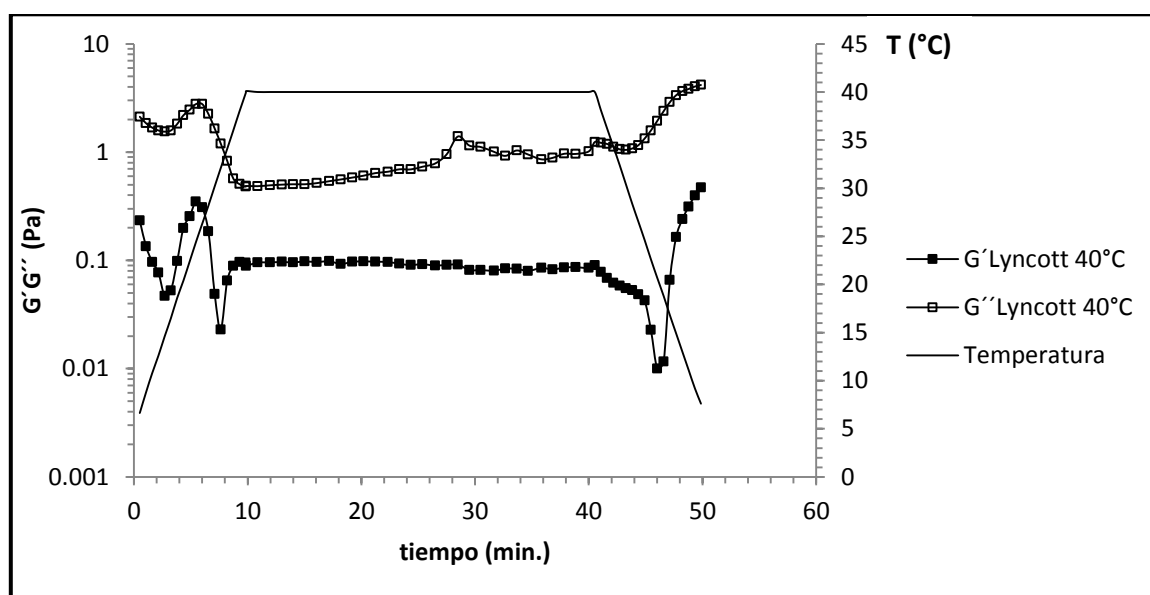


Figura 3.3. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Crema para batir Lyncott durante el temperado a 40 °C (a frecuencia de 1 Hz).

b) Tamaño de partícula antes y después del temperado a 40 °C

En la Figura 3.4 se observa que antes del temperado, la curva de distribución de tamaño muestra un comportamiento bimodal con un pico alrededor de 3 μm con un 10% de partículas y un pico alrededor de 150 μm con 25% de partículas. Después del temperado el porcentaje de partículas pequeñas (3 μm) disminuyó y el porcentaje de partículas grandes (100 a 200 μm) aumentó. Se presentó un incremento en la densidad de población (10% aproximadamente) de partículas de tamaño de 100 a 200 μm después del temperado, lo que

se pudo atribuir a la formación de agregados de glóbulos de grasa debido a la coalescencia total.

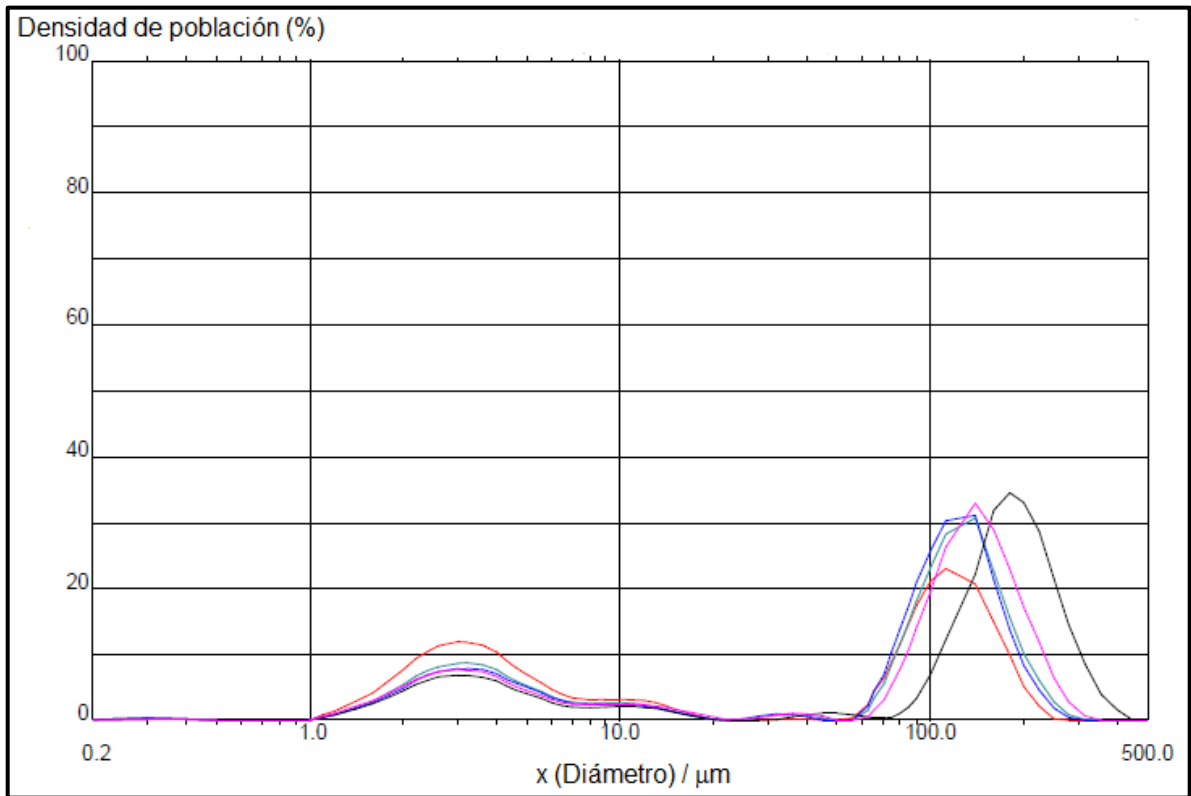


Figura 3.4. Curva de distribución de tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40 °C. Roja: antes del temperado, verde: 24 horas después del temperado, azul: 48 horas después del temperado, negra: 96 horas después del temperado, rosa: 144 horas después del temperado.

El Cuadro 3.1 muestra los valores promedio del tamaño de partícula así como el diámetro cuando se tuvo 10, 50 y 90% de partículas acumuladas; lo que da una idea de los diámetros de las más pequeñas, medianas y más grandes partículas de la muestra, para la crema para batir Lyncott temperada a 40 °C. Los valores aumentaron después del temperado, aunque visiblemente y medida en las pruebas de cizalla oscilatoria, la viscosidad de ésta no aumentó.

Cuadro 3.1. Tamaño de partícula para la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40 °C con varias horas de almacenamiento.

Diámetro (µm)				
Temperado a 40 °C	10% acumulado	50% acumulado	90% acumulado	Promedio
Antes	2.103	74.617	148.943	66.59
24 horas después	2.36	94.50	165.54	82.83
48 horas después	2.47	97.87	167.55	85.38
96 horas después	3.05	149.16	246.20	138.52
144 horas después	2.54	105.71	178.72	93.69

c) Prueba textural antes y después del temperado a 40 °C

En la Figura 3.5 se observa que las curvas antes y después del temperado fueron muy similares y en la parte negativa de la curva no hubo aumento de las propiedades adhesivas. Ésto se notó visiblemente en la crema ya que no aumentó su viscosidad en ningún momento, ésta siempre fue muy fluida al inicio y al final del temperado con varios días de almacenamiento en refrigeración.

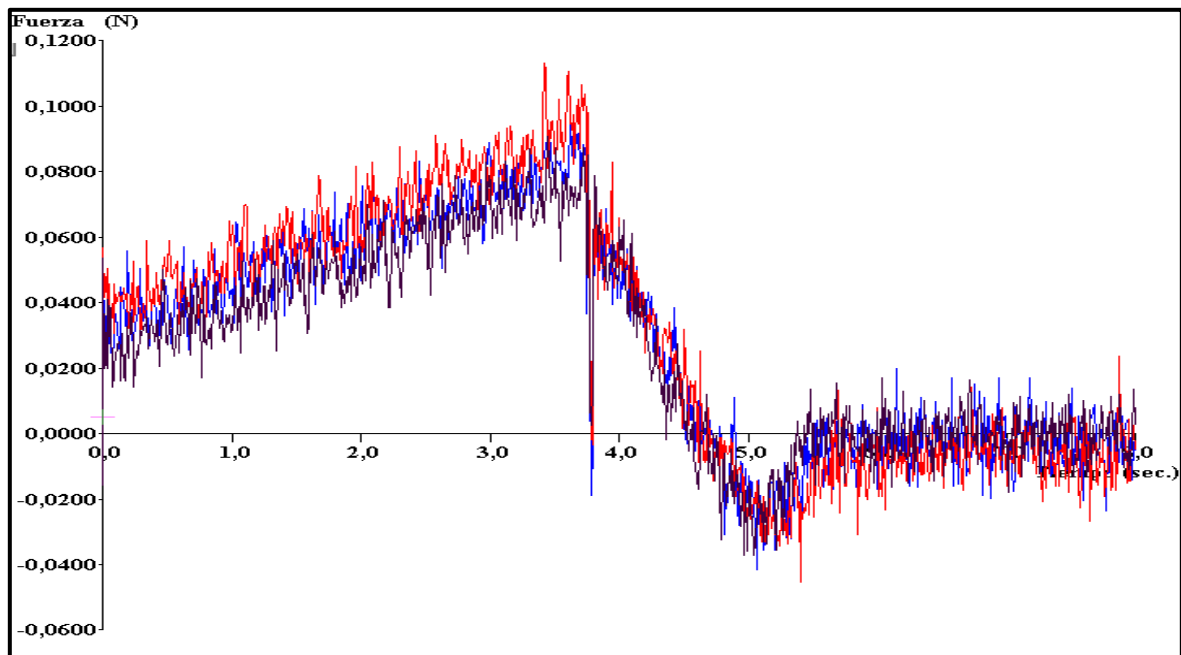


Figura 3.5. Curva de penetración y retirada de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40 °C. Azul: antes del temperado, roja: 24 horas después del temperado, negra: 48 horas después del temperado.

El Cuadro 3.2 muestra que en todos los parámetros texturales no hubo un cambio muy marcado después del temperado, ya que todos los valores antes y después de éste se mantuvieron muy similares.

Cuadro 3.2. Parámetros texturales de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40 °C.

Temperado a 40 °C	Dureza (N)	Fuerza Adhesiva (N)	Adhesividad (N*s)	Estiramiento (mm)
Antes	0.116	-0.039	-0.007	5.86
24 horas después	0.104	-0.041	-0.014	6.96
48 horas después	0.105	-0.038	-0.012	6.36

A pesar de que en el tamaño de partícula el aumento del diámetro de los glóbulos de grasa después del temperado fue evidente, según los resultados obtenidos, en reología y textura no repercutió, ya que la mayor parte de la grasa láctea se fundió a la temperatura de calentamiento del temperado a 40 °C, debido a que el punto de fusión de la grasa láctea está por debajo de esta temperatura, por lo que no hubo un aumento en los parámetros reológicos y texturales. Esto quizá se debe a que los glóbulos de grasa fundida siguieron formando agregados de gotas coalescidas totalmente, pero éstos ya no fueron capaces de producir un aumento en la consistencia ya que esta grasa ya no se recrystalizó. Este mismo fenómeno ocurrió en ensayos sobre la nata a 40 °C o sobre cremas de leche de soya a 50 °C en estudios de Márquez y col. (2005c), en donde no se observaron cambio reológicos, debido a la fusión casi total de la grasa.

Debido a los resultados obtenidos en esta actividad preliminar se eliminó el temperado a 40 °C, por lo que para la experimentación se trabajó con temperado a 25 y 12 °C para los tres tipos de cremas comerciales.

3.2 Objetivo Particular 1

Evaluar el efecto del temperado a 25 °C (iniciar con la crema a 7 °C, calentarla hasta 25 °C por 30 minutos y enfriarla nuevamente a 7 °C por 48 horas) en tres tipos de cremas

comerciales sobre las propiedades reológicas, texturales y tamaño de partícula para relacionarlas con la composición de cada crema.

3.2.1 Pruebas reológicas antes y después del temperado a 25 °C

a) Crema natural temperada a 25 °C

En el barrido de esfuerzo que se le realizó a esta crema, el esfuerzo obtenido en la zona de viscoelasticidad lineal fue de 6 Pa. En la Figura 3.6 se presentan los barridos de frecuencia de la crema natural antes y después del temperado a 25 °C. Se observó el predominio del módulo viscoso (G'') en todo el intervalo de frecuencia. Ambos módulos aumentaron conforme aumentó la frecuencia. Las curvas después de 24 y 48 horas de temperado fueron muy similares, y no hay un aumento después del tratamiento térmico en los módulos, sino una disminución probablemente por la inestabilidad de la crema, y se atribuyó a la coalescencia total por efecto del tiempo de almacenamiento, además de que físicamente estaba muy fluida. En esta gráfica no se tomaron en cuenta los puntos de los módulos a frecuencias de 0.1 a 1 Hz ya que a esas frecuencias la respuesta del instrumento fue errática por falta de sensibilidad a bajas frecuencias.

Los resultados obtenidos en los parámetros reológicos fueron menores en comparación con las otras dos cremas, esto debido a que la crema natural no tenía emulsificantes ni estabilizantes a pesar que tenía 30% de grasa al igual que la crema Lyncott para batir con emulsificantes y estabilizantes, por lo que éstos influyeron en los resultados de los parámetros reológicos y en la visiblemente en la viscosidad y estabilidad de las cremas.

En la Figura 3.7 se representa el seguimiento de los módulos elástico y viscoso del temperado completo a 25 °C. En todo el intervalo de tiempo predominó el módulo viscoso (G''). Al inicio hubo una variación en los módulos ya que aumentaron y disminuyeron en el intervalo de 7-25 °C, en la etapa de mantenimiento a 25 °C el módulo viscoso se mantuvo ligeramente constante (entre 0.3 y 1 Pa), mientras que el módulo elástico fue más inestable y en la etapa de enfriamiento a 23 °C el módulo viscoso aumentó de manera

notable, mientras que el módulo elástico lo hizo a 18 °C. Este comportamiento puede deberse a la poca estabilidad que tiene la crema en relación con la temperatura, ya que no contiene emulsificantes ni estabilizantes y el contenido de grasa no es el suficiente como para provocar un aumento en la viscosidad o en la estabilidad de la misma, después del temperado.

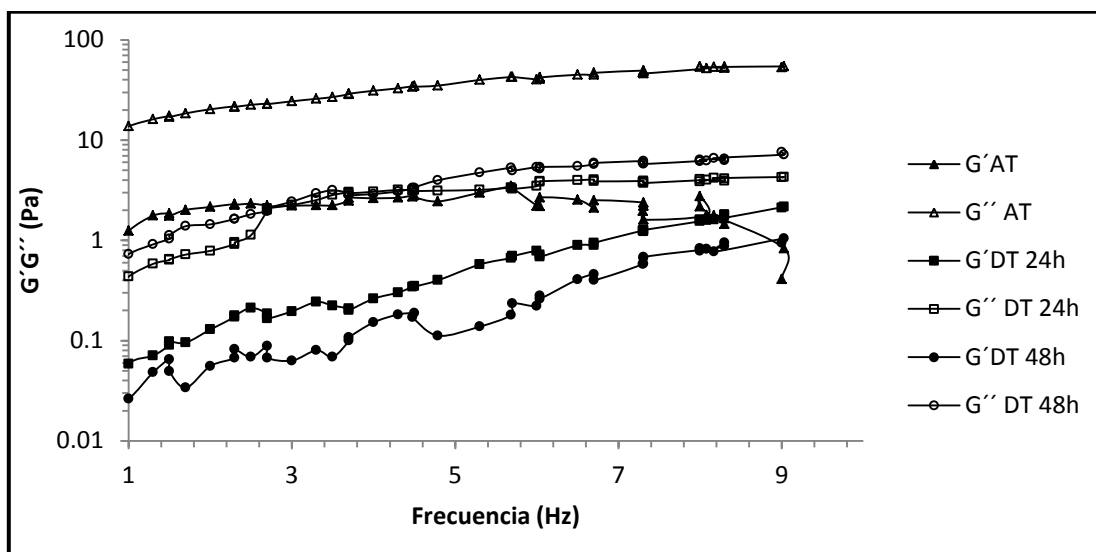


Figura 3.6. Barridos de frecuencia de la crema natural antes y después del temperado a 25 °C.

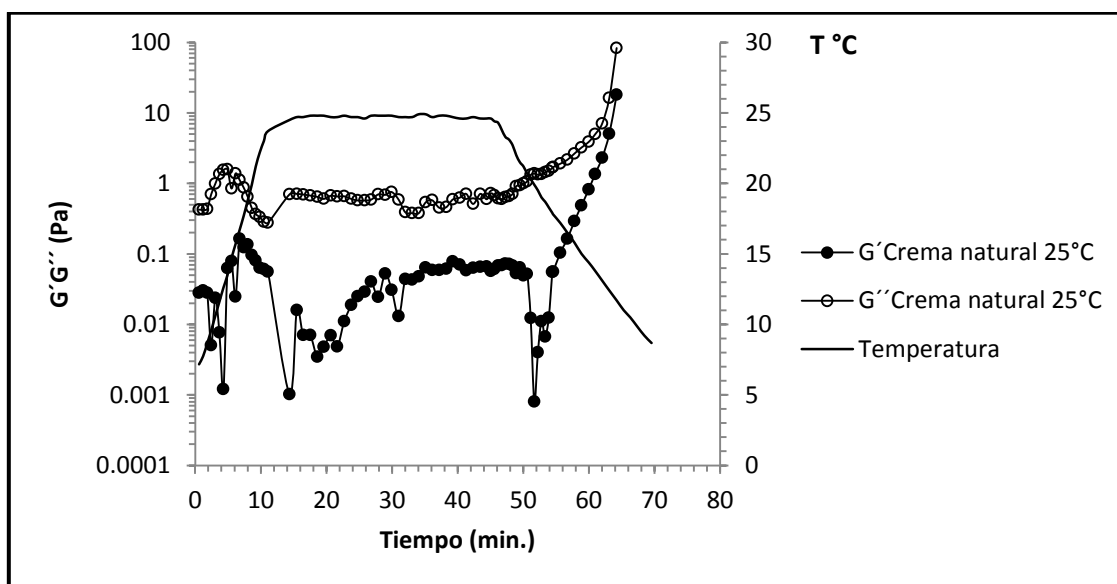


Figura 3.7. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Crema natural durante el temperado a 25 °C (a frecuencia de 1 Hz).

b) Crema para batir Lyncott temperado a 25 °C

En la Figura 3.8 se muestran los barridos de esfuerzo antes y después del temperado a 25 °C de la crema para batir Lyncott, en donde se observó el predominio del componente viscoso (G'') en todo el intervalo de esfuerzo y los módulos antes del temperado disminuyeron conforme aumentó el esfuerzo. La zona lineal antes del temperado está en 7 Pa aproximadamente.

En la Figura 3.9 se muestran los barridos de frecuencia antes y después del temperado y se observa que en ambos casos predominó el componente viscoso (G''). Los módulos fueron aumentando conforme aumentó la frecuencia. Después del temperado a 25 °C con 24 horas en almacenamiento a 7 °C los módulos aumentaron ligeramente, aunque a las 48 horas en almacenamiento el módulo viscoso (G'') fue menor que a las 24 horas.

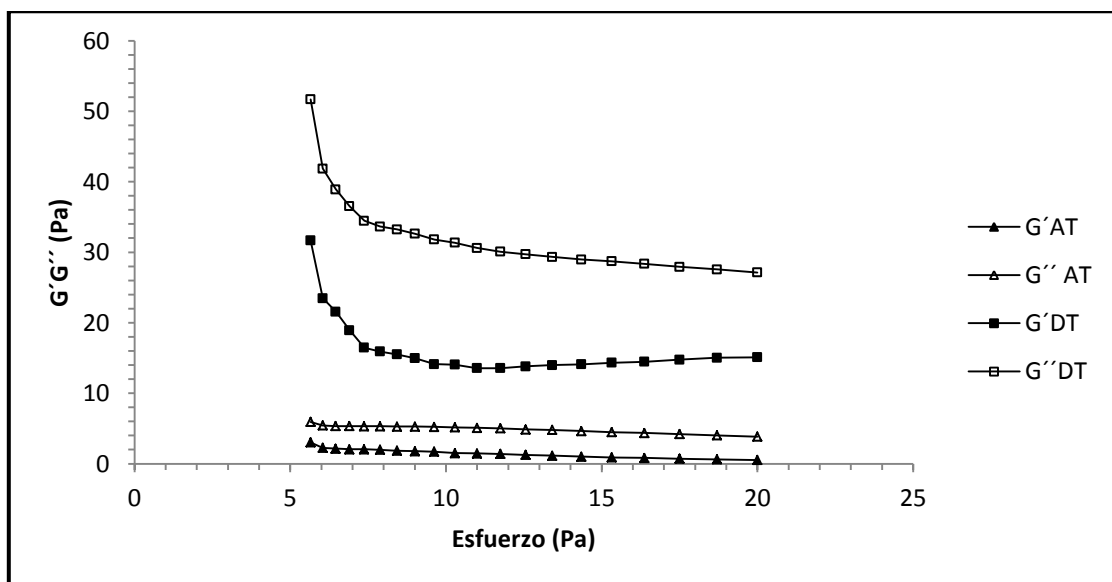


Figura 3.8. Barrido de esfuerzo de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C.

En estudios de temperado de cremas como los de Márquez y col., (2005c) se analizó el efecto de ciclos de calentamiento sobre cremas preparadas con leche de soya en polvo reconstituida, aceite de girasol y grasa láctea. Los ciclos consistieron en un calentamiento a

40 °C o 50 °C por 30 minutos seguido de un enfriamiento a 4 °C por 2 horas y se observó que después del temperado aumentó la consistencia de la emulsión, encontrándose que en las cremas con 40% grasa aumentaron G' y G'' por la formación de agregados y fusión parcial de la grasa, y este comportamiento coincidió con los resultados de esta experimentación con la crema para batir Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes temperada a 25 °C. El comportamiento descrito anteriormente no ocurrió en esta experimentación con el temperado a 40 °C debido a que en el estudio anterior utilizan una grasa con alto punto de fusión (47-48 °C), es por ello que en el artículo mencionado no se presenta el fenómeno de coalescencia total a esa temperatura.

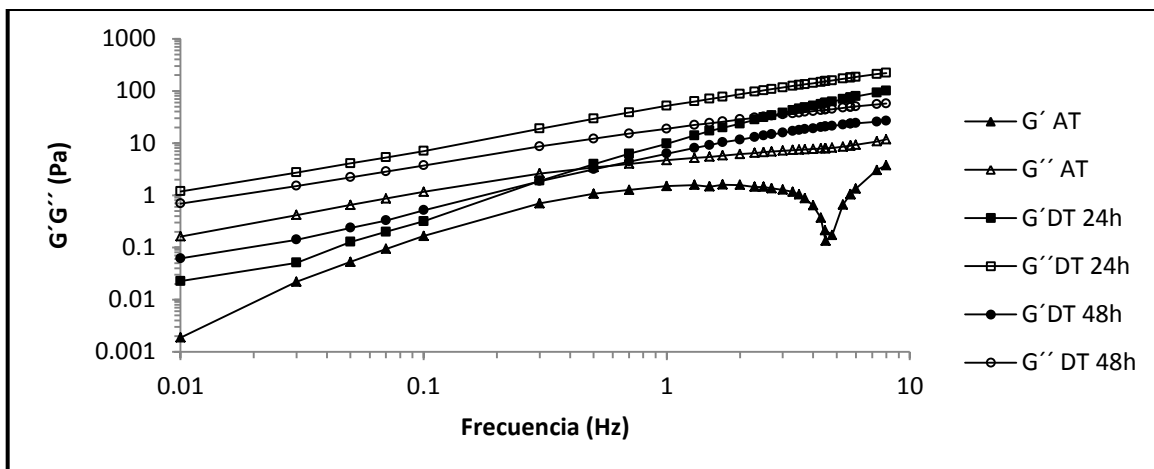


Figura 3.9. Barrido de frecuencia de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C.

En la Figura 3.10 se muestra el seguimiento del temperado a 25 °C de la crema para batir Lyncott en donde predominó el módulo viscoso (G'') en toda la prueba. Al inicio del calentamiento se observó una ligera disminución de los módulos hasta los 10 °C, después de esta temperatura comienzan a aumentar y alrededor de los 20 °C disminuyen. Al llegar a los 25 °C y durante el mantenimiento a esta temperatura, aumentaron. Este comportamiento coincidió con lo encontrado por Gravier y col., (2005) reportado en el artículo Influencia del temperado en las propiedades mecánicas del batido de cremas lácteas, aquí se evaluó sólo el módulo elástico y la espuma no se colapsó porque el contenido de grasa sólida a temperatura de 25 °C era suficiente para mantener la estructura de apoyo de tensión, por lo menos durante un corto período de tiempo. El módulo elástico (G') aumentó

considerablemente una vez que la muestra se enfrió ya que la rigidez mejoró considerablemente después del proceso de temperado, al igual que con la crema para batir Lyncott y esto se atribuye a la coalescencia parcial.

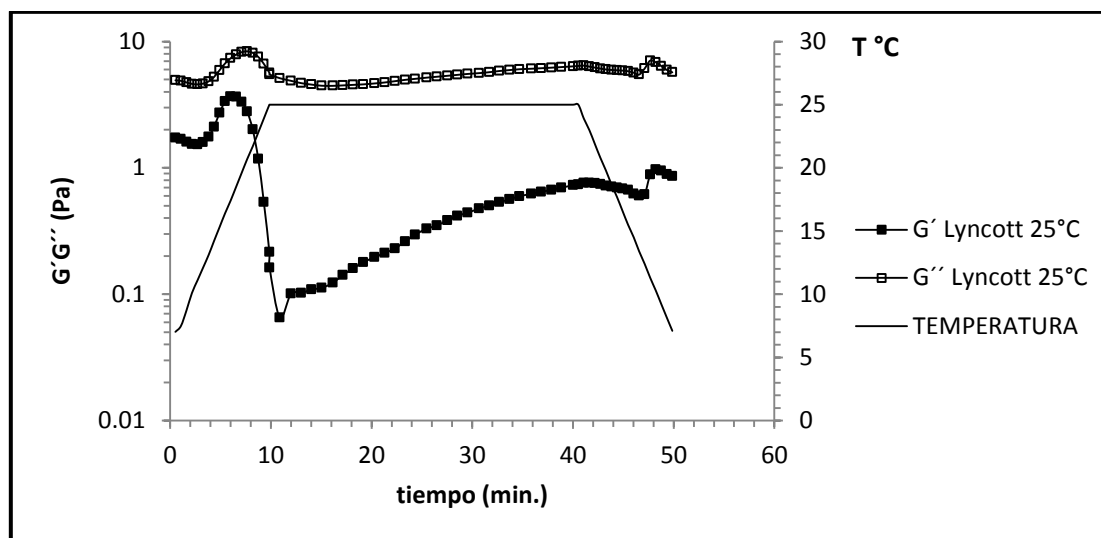


Figura 3.10. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Crema para batir Lyncott durante el temperado a 25 °C (a frecuencia de 1 Hz).

c) Media crema Lala temperado a 25 °C

En el barrido de esfuerzo que se le realizó a esta crema, el valor del esfuerzo obtenido en la zona lineal fue de 12 Pa. En la Figura 3.11 se muestran los módulos elástico y viscoso en función de la frecuencia de la media crema Lala antes y después del temperado con 24 y 48 horas de almacenamiento a 7 °C. Se observó que al inicio predomina el módulo viscoso (G'') pero durante el barrido hubo un cruce aproximadamente a la frecuencia de 0.1 a 0.3 Hz y al final el módulo que predominó fue el elástico (G'), esto ocurrió antes y después del temperado. Después del temperado y almacenamiento los valores de los módulos fueron ligeramente más altos que antes de éste, debido a que la crema ya tenía gran consistencia antes del temperado (por los emulsificantes y estabilizantes que contenía) por lo que después del tratamiento térmico no se apreció un gran cambio. En el módulo elástico se aprecia un cambio notorio después del temperado.

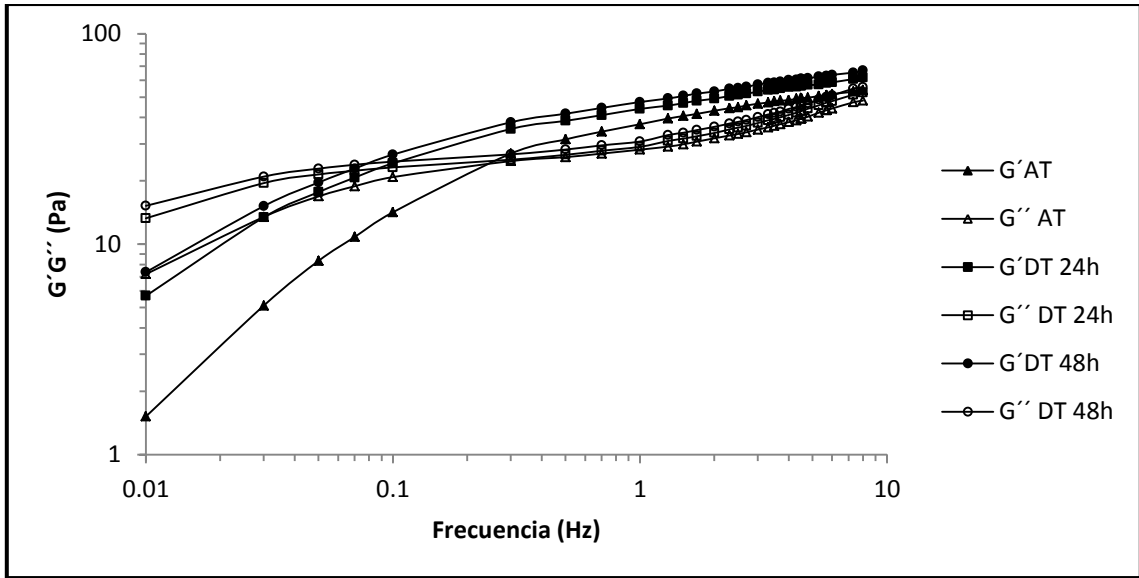


Figura 3.11. Barrido de frecuencia de la media crema Lala antes y después del temperado a 25 °C.

En la Figura 3.12 se observa que en la crema antes del temperado estando en refrigeración por dos días mostró resultados ligeramente mayores en los módulos elástico y viscoso que la crema antes del temperado recién destapada, lo cual quiere decir que además del temperado también afectó tenerla almacenada en refrigeración, aunque en menor proporción.

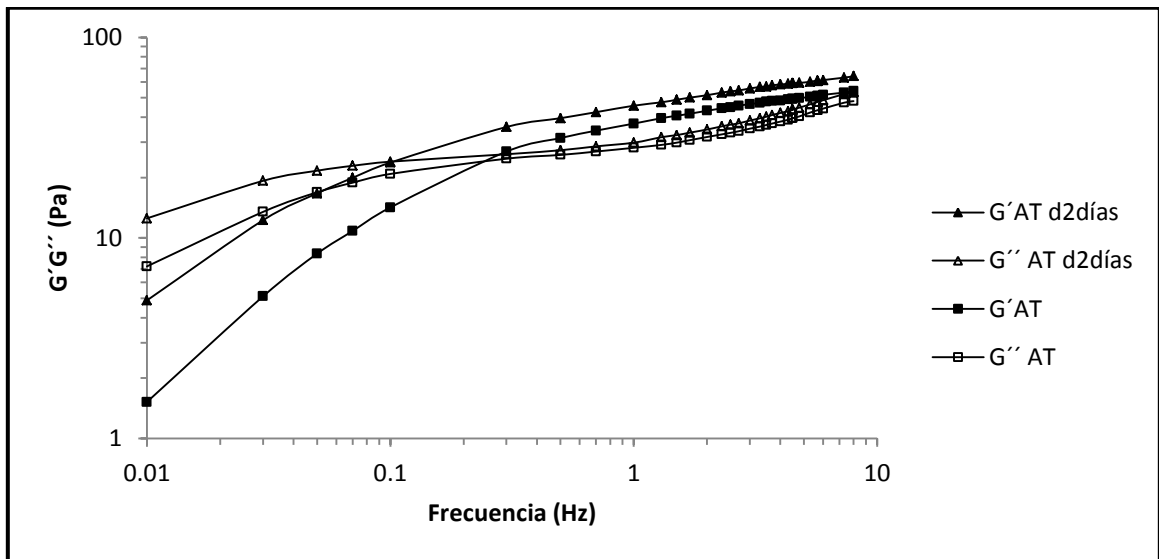


Figura 3.12. Barridos de frecuencia de la media crema Lala antes del temperado a 25 °C y con dos días de almacenamiento.

En la Figura 3.13 se representa el seguimiento de los módulos elástico (G') y viscoso (G'') durante el temperado en el reómetro. Se observó el predominio del módulo elástico durante todo el intervalo de tiempo, excepto en el mantenimiento a 25 °C, en donde predominó el módulo viscoso. Durante el calentamiento de 7 a 25 °C los módulos disminuyeron, durante el mantenimiento a 25 °C éstos se mantuvieron constantes y en el enfriamiento de 25 a 7 °C los módulos aumentaron.

La goma guar presente en la media crema Lala proporciona una alta viscosidad en sistemas lácticos, incluso en dosis bajas. Se utiliza principalmente como agente espesante con viscosidad en función de la temperatura. Es poco sensible a los efectos mecánicos y tiene buena resistencia a los ciclos de congelación–descongelación. Presenta muy buena estabilidad cuando los productos se almacenan a temperatura ambiente (Cubero y col., 2002). Existe sinergismo entre la goma guar y las carrageninas, las cuales presentan una viscosidad baja a temperaturas superiores a 60 °C, pero al enfriarse forma un gel, cuya rigidez depende de la concentración del polímero y de la cantidad de iones potasio, amonio o calcio que contengan (Badui, 2006). Es un hidrocoloide con propiedades gelificantes extremadamente marcadas. El proceso de formación de geles por acción de las carrageninas se da durante el enfriamiento de la solución (Cubero y col., 2002).

Esta media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes antes del temperado presentó valores más altos de los módulos elástico y viscoso en comparación con la crema para batir Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes. Como tal las cremas con adición de emulsificantes y estabilizantes ya son estables y los ciclos de temperado no afectan eso, ya que las temperaturas no son tan altas, además de que desconocemos la cantidad y tipo de emulsificantes y estabilizantes que contengan, por lo que los resultados obtenidos de coalescencia parcial se atribuyen al temperado principalmente y a la cantidad de grasa.

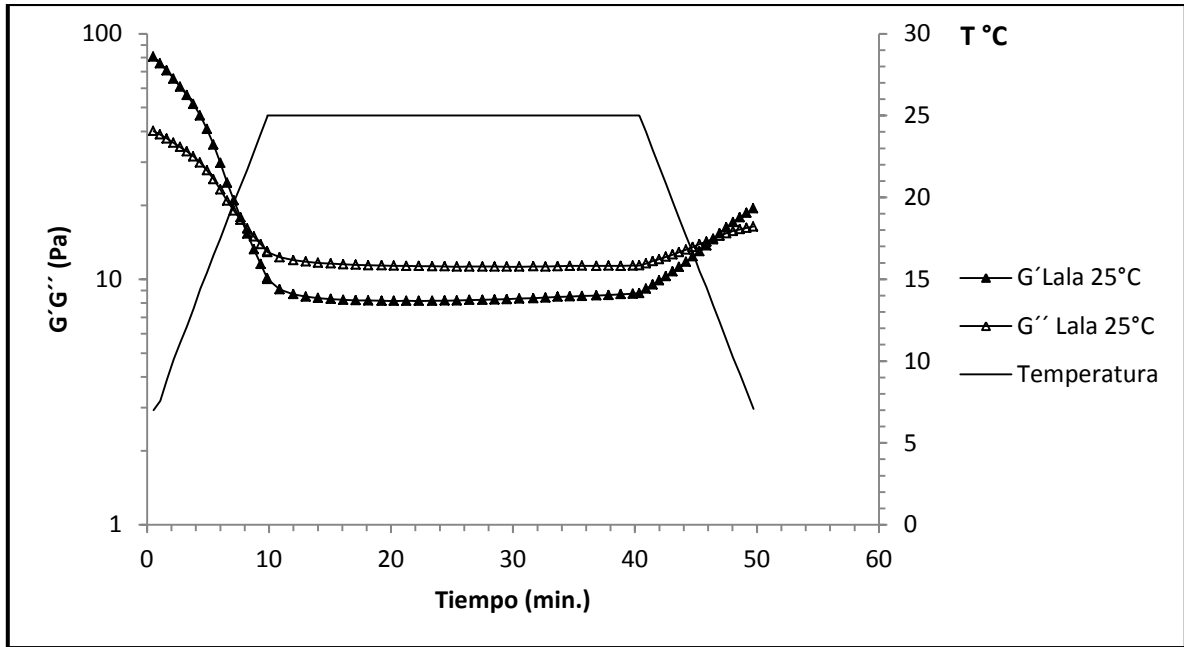


Figura 3.13. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Media crema Lala durante el temperado a 25 °C (a frecuencia de 1 Hz).

3.2.2 Tamaño de partícula antes y después del temperado a 25 °C

a) Crema natural temperada a 25 °C

En la Figura 3.14 se observó que la curva de distribución de tamaño antes del temperado tuvo un comportamiento bimodal con picos alrededor de 4 μm con 20% de partículas y 150 μm con 30% de partículas. Después del temperado con 24 horas en refrigeración, el porcentaje de partículas pequeñas disminuyó ligeramente (alrededor del 5%). El pico de partículas grandes se desplazó a 100 μm después del temperado con 48 horas en almacenamiento disminuyendo en un 10% el volumen, además se observó un ligero incremento de partículas entre 10 y 70 μm , mientras que a las 24 horas de almacenamiento este pico se mantuvo en el mismo tamaño que antes del temperado.

El cambio en el tamaño de partícula de esta crema sin emulsificantes ni estabilizantes no fue tan claro como el observado con la crema para batir Lyncott con 30% de grasa con

emulsificantes y estabilizantes y con la media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes, ya que tenía una menor consistencia antes y después del temperado por la falta de los polisacáridos.

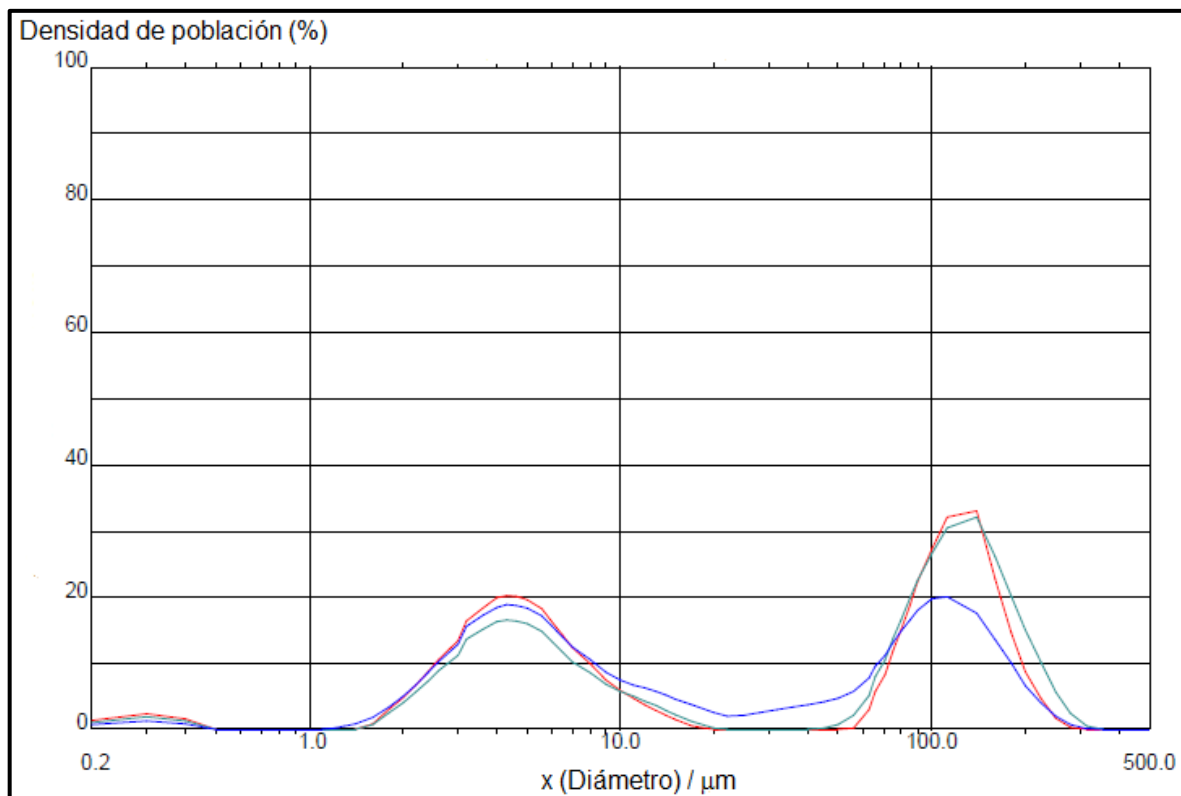


Figura 3.14. Curva de distribución de tamaño de partícula de la crema natural antes y después del temperado a 25 °C. Roja: antes del temperado, verde: 24 horas después del temperado, azul: 48 horas después del temperado.

En el Cuadro 3.3 se puede observar que el tamaño de partícula promedio y acumulado al 10, 50 y 90% de la crema natural, aumentó después del ciclo a 25 °C con 24 horas de almacenamiento en refrigeración. Este comportamiento pudo deberse a otros fenómenos de desestabilización como la coalescencia total ocasionada por el tiempo de almacenamiento en refrigeración, o por la floculación y es por ello que a las 48 horas disminuye notablemente el tamaño de partícula promedio ya que los agregados de gotas de grasa pudieron fusionarse en una sola gota y así disminuir su tamaño de partícula o separarse y formar gotas más pequeñas.

Cuadro 3.3. Tamaño de partícula de la crema natural antes y después del temperado a 25 °C.

Diámetro (µm)				
Temperado a 25 °C	10% acumulado	50% acumulado	90% acumulado	Promedio
Antes	2.44	19.40	144.65	57.90
24 horas después	2.71	78.41	165.23	74.08
48 horas después	2.49	9.45	135.17	46.15

Para esta crema natural ya no se realizó la prueba textural de adhesividad por penetración y retirada ya que tenía una consistencia muy líquida lo cual no permitía obtener resultados repetibles entre sí y valores del coeficiente de variación menores al 10%, por lo que para el temperado a 12 °C tampoco se mostraron resultados de parámetros texturales.

b) Crema para batir Lyncott temperada a 25 °C

En la Figura 3.15 la curva de distribución de tamaño de partícula antes del temperado presentó un comportamiento bimodal con picos alrededor de 3 µm con un 20% de partículas y un pico alrededor de 90 µm con el mismo porcentaje. Después del temperado disminuyó el porcentaje de partículas de 3 µm en un 50% y el porcentaje de partículas grandes aumentó de 20% a 40%. Las curvas mostraron un desplazamiento a la derecha, lo que indicó un mayor número de partículas de mayor tamaño por la formación de agregados de grasa parcialmente cristalizada.

Se utilizó la concentración de 1% de SDS y en el Cuadro 3.4 se muestra el efecto que tiene el temperado, ya que el tamaño aumentó después de éste por la fusión de los aglomerados de gotas de grasa parcialmente coalescidas en una sola gota de mayor tamaño. También se muestran los diámetros de partícula correspondientes al 10, 50 y 90% de acumulado, notándose un considerable aumento así como del diámetro promedio después del temperado a las 24 horas y 48 horas.

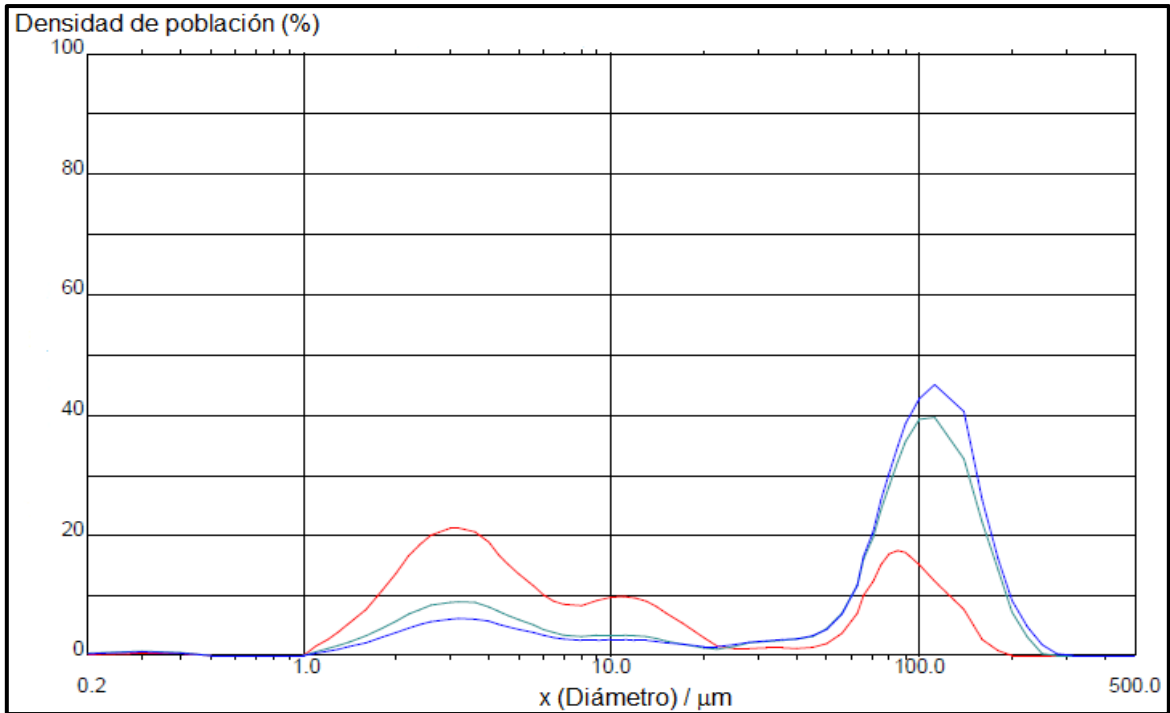


Figura 3.15. Curva de distribución de tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C. Roja: antes del temperado, verde: 24 horas después del temperado, azul: 48 horas después del temperado.

Cuadro 3.4. Tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C.

Temperado a 25 °C	Diámetro (μm)			Promedio
	10% acumulado	50% acumulado	90% acumulado	
Antes	1.88	5.22	89.2	25.26
24 horas después	2.56	81.88	145.55	74.63
48 horas después	3.27	89.84	152.62	83.66

c) Media crema Lala temperada a 25 °C

En la Figura 3.16 antes del temperado, la curva de distribución de tamaño muestra un comportamiento bimodal con un pico alrededor de 4 μm con un 10% de partículas y un pico alrededor de 200 μm con 25% de partículas. Después del temperado el porcentaje de

partículas pequeñas disminuyó en un 50% y el porcentaje de partículas grandes aumentó en un 50% (aún cuando los picos de partículas grandes después del temperado se desplazaron hacia la izquierda, a tamaños un poco menores), lo que se pudo atribuir a la formación de agregados de gotas de grasa parcialmente cristalizadas a las 24 horas, pero a las 48 horas la disminución del tamaño de partícula pudo deberse a la coalescencia total de las gotas de grasa (por efecto del tiempo de almacenamiento) y ésto provoca un menor tamaño en las gotas fusionadas, comparándose con gotas coalescidas.

En el Cuadro 3.5 podemos ver que el temperado tuvo efecto en el tamaño de las partícula ya que el promedio y los acumulados al 10 y 50% aumentaron después de la aplicación del temperado con 24 horas de almacenamiento, aunque a las 48 horas el tamaño disminuyó. Esta crema con 20% de grasa es la que presentó mayor consistencia y viscosidad antes y después del temperado por los polisacáridos que contiene (comparada con la crema para batir Lyncott y la crema natural), lo cual dificultaría el desplazamiento de gotas produciéndose un menor número de agregados debido a la coalescencia parcial y por lo tanto un menor aumento de diámetro a las 48 horas de almacenamiento después del temperado (Márquez y col., 2005c).

Cuadro 3.5. Tamaño de partícula de la media crema Lala antes y después del temperado a 25 °C.

Diámetro (µm)				
Temperado a 25 °C	10% acumulado	50% acumulado	90% acumulado	Promedio
Antes	2.47	28.73	228.11	87.79
24 horas después	3.01	110.35	188.25	100.05
48 horas después	2.41	78.45	157.40	75.05

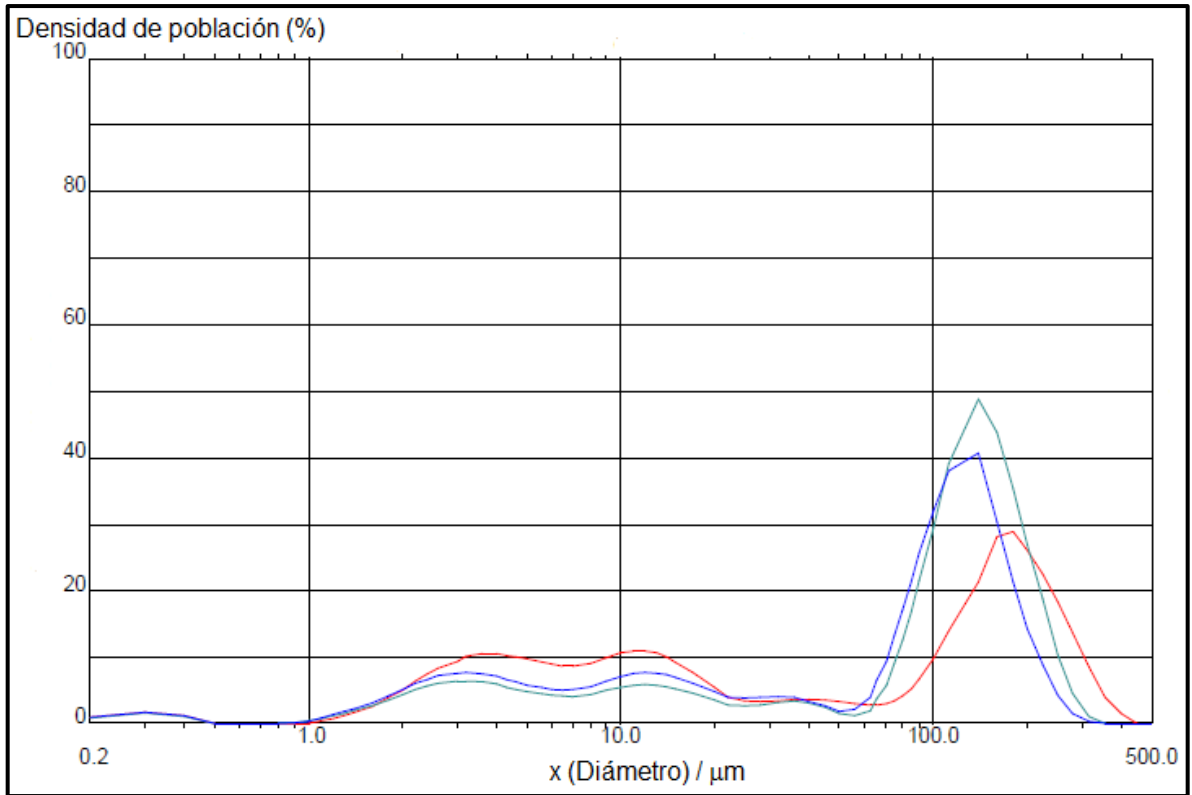


Figura 3.16. Curva de distribución de tamaño de partícula de la media crema Lala antes y después del temperado a 25 °C. Roja: antes del temperado, verde: 24 horas después del temperado, azul: 48 horas después del temperado.

3.2.3 Prueba textural antes y después del temperado a 25 °C

a) Crema para batir Lyncott temperada a 25 °C

La Figura 3.17 muestra que en la crema para batir Lyncott la curva antes del temperado está por debajo de la curva después del temperado. La parte negativa de la curva en donde se reflejan las propiedades adhesivas incrementó después del temperado a las 24 y 48 horas en almacenamiento, y esto se observa que en la curva azul, en donde la parte negativa está por encima de las otras curvas que representan la adhesividad después del temperado. Antes del temperado la crema era fluida y después de éste se notó visiblemente un ligero aumento en la consistencia y como nos muestra la gráfica también en los parámetros texturales.

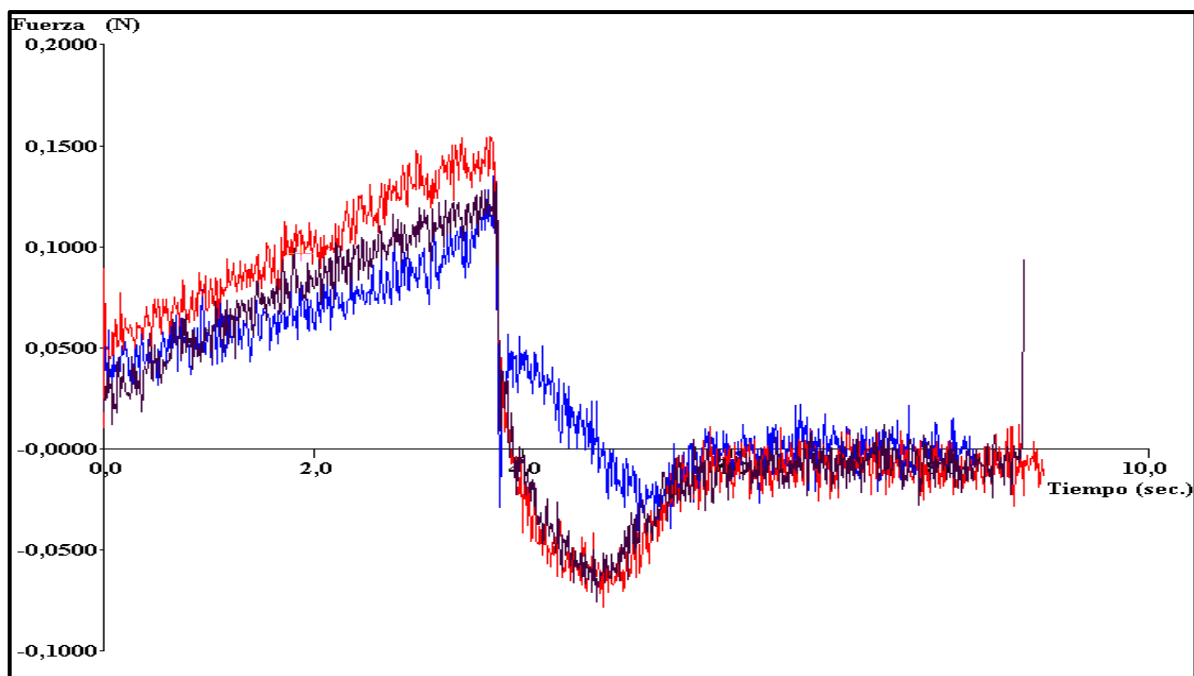


Figura 3.17. Curva de penetración y retirada de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C. Azul: antes del temperado, negra: 24 horas después del temperado, roja: 48 horas después del temperado.

En el Cuadro 3.6 se muestran los valores de los parámetros texturales en donde se presenta el aumento progresivo de la dureza después del temperado y tiempo de almacenamiento. Estructuralmente, hay una formación de cristales en las gotas de grasa debido a la refrigeración, y posteriormente al calentarse, los cristales de las gotas penetran en otras y se forman agregados, los cuales al refrigerarse nuevamente, proporcionan una mayor dureza a la crema. La fuerza adhesiva y la adhesividad a las 48 horas aumentaron de manera importante.

Cuadro 3.6. Parámetros texturales de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25 °C.

Temperado a 25 °C	Dureza (N)	Fuerza Adhesiva (N)	Adhesividad (N*s)	Estiramiento (mm)
Antes	0.1142	-0.028	-0.019	9.28
24 horas después	0.1430	-0.069	-0.066	18.04
48 horas después	0.1725	-0.083	-0.077	17.90

b) Media crema Lala temperada a 25 °C

En la Figura 3.18 se observa que después del temperado con 24 horas en refrigeración la curva de los parámetros texturales fue mayor que la curva antes del temperado y que la curva después del temperado con 48 horas en refrigeración. El área negativa de la curva que representa las propiedades adhesivas no aumentó después del temperado con 48 horas en almacenamiento.

En el Cuadro 3.7 se observa que la dureza, fuerza adhesiva y adhesividad fueron en aumento después del temperado aunque con 48 horas de almacenamiento éstos ya no siguieron aumentando, además de que el estiramiento cambió muy poco con el tratamiento térmico. Este comportamiento fue el mismo en la prueba de tamaño de partícula, lo cual confirma la explicación dada en ese punto, que a las 48 horas la coalescencia de las gotas de grasa ya no es parcial, sino total, lo que no permite el aumento de los parámetros texturales después del tiempo de almacenamiento en refrigeración.

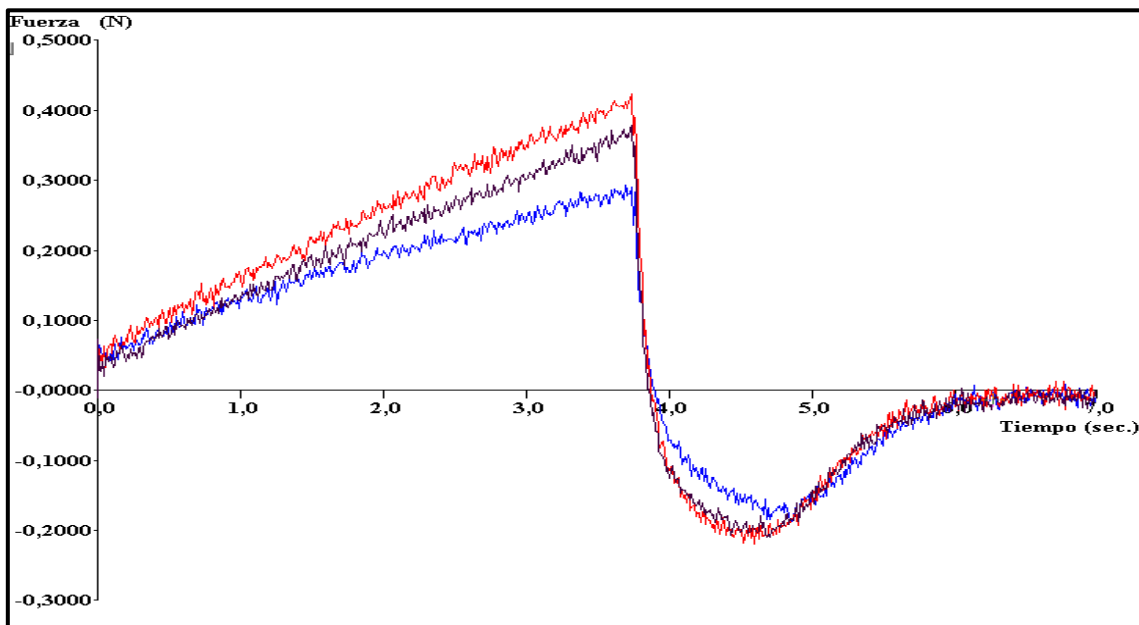


Figura 3.18. Curva de penetración y retirada de la media crema Lala antes y después del temperado a 25 °C. Azul: antes del ciclo, roja: 24 horas después del temperado, negra: 48 horas después del temperado.

Cuadro 3.7. Parámetros texturales de la media crema Lala antes y después del temperado a 25 °C.

Temperado a 25 °C	Dureza (N)	Fuerza Adhesiva (N)	Adhesividad (N*s)	Estiramiento (mm)
Antes	0.27	-0.17	-0.22	23.74
24 horas después	0.38	-0.22	-0.28	21.97
48 horas después	0.36	-0.21	-0.26	22.07

3.3 Objetivo Particular 2

Evaluar el efecto del temperado a 12 °C (iniciar con la crema a 7 °C, calentarla hasta 12 °C por 30 minutos y enfriarla nuevamente a 7 °C por 48 horas) en tres tipos de cremas comerciales sobre las propiedades reológicas, texturales y tamaño de partícula para relacionarlas con la composición de cada crema.

3.3.1 Pruebas reológicas antes y después del temperado a 12 °C

a) Crema natural temperada a 12 °C

En el barrido de esfuerzo que se le realizó a esta crema el valor del esfuerzo obtenido en la zona lineal fue de 6 Pa. En la Figura 3.19 se observa que hubo predominio del módulo viscoso (G'') antes y después del temperado a 12 °C. Ambos módulos fueron en aumento conforme aumentó la frecuencia y éstos fueron mayores después del temperado y el almacenamiento a las 24 y 48 horas, aunque visiblemente la crema fue muy fluida debido a que no contiene emulsificantes ni estabilizantes, por lo que los resultados obtenidos en esta prueba resultan poco usuales, ya que la crema no fue estable.

En la Figura 3.20 se observa que en todo el intervalo de tiempo predominó el módulo viscoso (G''). Al inicio el módulo viscoso aumentó un poco y al llegar a la temperatura de 10 °C permaneció entre 1 y 3 Pa. A 12 °C cuando comenzó la etapa de enfriamiento ambos módulos aumentaron. Los resultados obtenidos de G' y G'' para la misma crema pero

temperada a 25 °C fueron mayores, debido a que la temperatura de temperado fue más alta y permitió una mayor fusión de las gotas de grasa.

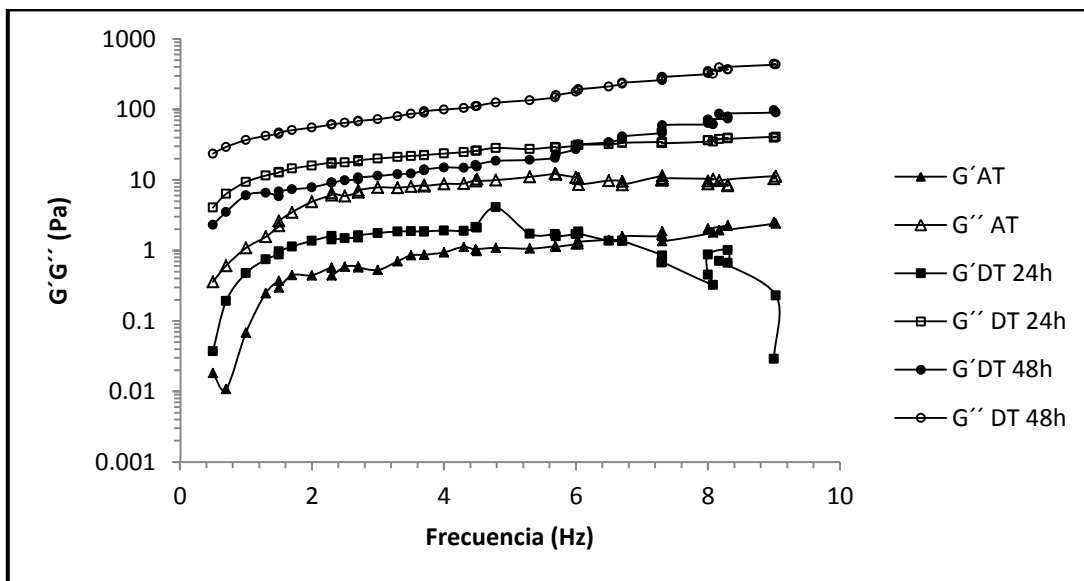


Figura 3.19. Barridos de frecuencia para la crema natural antes y después del temperado a 12 °C.

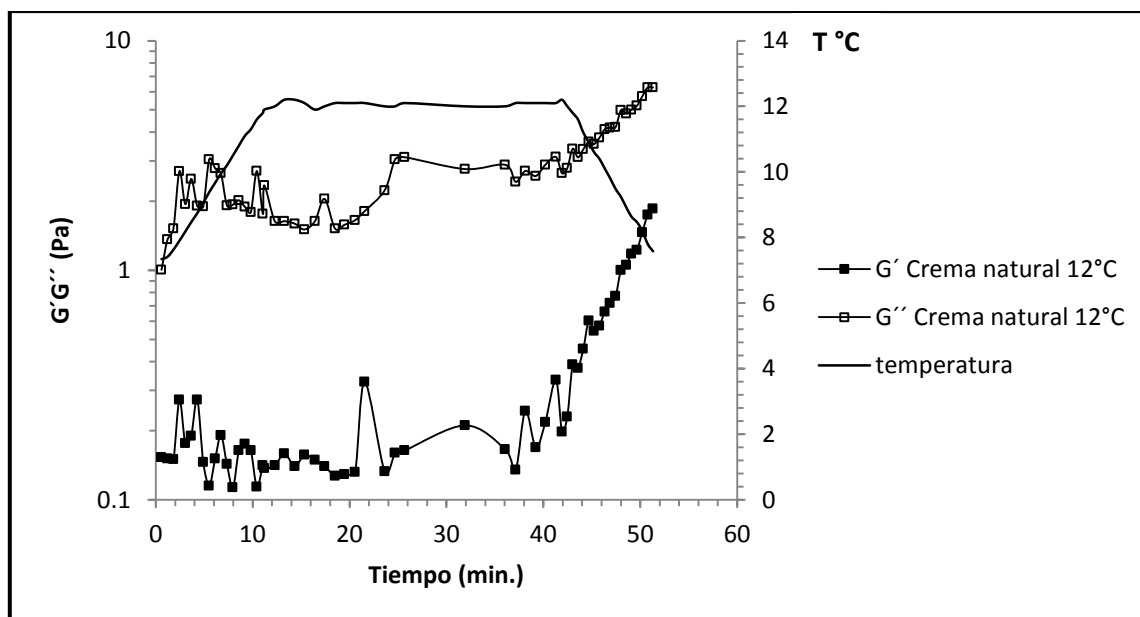


Figura 3.20. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Crema natural durante el temperado a 12 °C (a frecuencia de 1 Hz).

b) Crema para batir Lyncott temperado a 12 °C

En el barrido de esfuerzo que se le realizó a esta crema el valor del esfuerzo obtenido en la zona de viscoelasticidad lineal fue de 5 Pa. En la Figura 3.21 se observan los barridos de frecuencia antes y después del temperado para la crema para batir Lyncott temperada a 12 °C. El módulo que predominó fue el módulo viscoso (G''). Ambos módulos fueron aumentando conforme aumentó la frecuencia. Las curvas de los módulos elástico (G') y viscoso (G'') antes y después del temperado fueron muy similares, por lo que no se notó efecto del temperado en la gráfica. Esto pudo deberse a que la temperatura de calentamiento del temperado no fue lo suficientemente alta como para permitir que se fundiera suficiente grasa y así aumentar el contacto entre cristales y posteriormente en el almacenamiento a temperatura de refrigeración éstos coalescieran parcialmente, permitiendo el aumento de los parámetros reológicos.

Comparando éstos resultados con los obtenidos con la misma crema pero con el temperado a 25 °C, los valores de G' y G'' de este último temperado fueron mayores, durante el ciclo y en los barridos de frecuencia, ya que después de aplicarle el temperado a 25 °C se apreció un aumento mayor en el módulo viscoso (G'') comparado con este temperado a 12 °C.

En la Figura 3.22 se observa que hubo predominio del módulo viscoso durante las tres etapas del temperado. En la etapa de calentamiento de 7 a 12 °C los módulos se mantuvieron constantes, posteriormente en el mantenimiento a 12 °C los módulos incrementaron y para el enfriamiento en el intervalo de temperatura de 12 a 7 °C éstos se mantuvieron constantes. Este comportamiento al inicio de la prueba comparado con el temperado a 25 °C pudo deberse a que para esta crema se utilizaron dos lotes, uno para cada temperado, debido a que el tiempo de vida que tenían era corto.

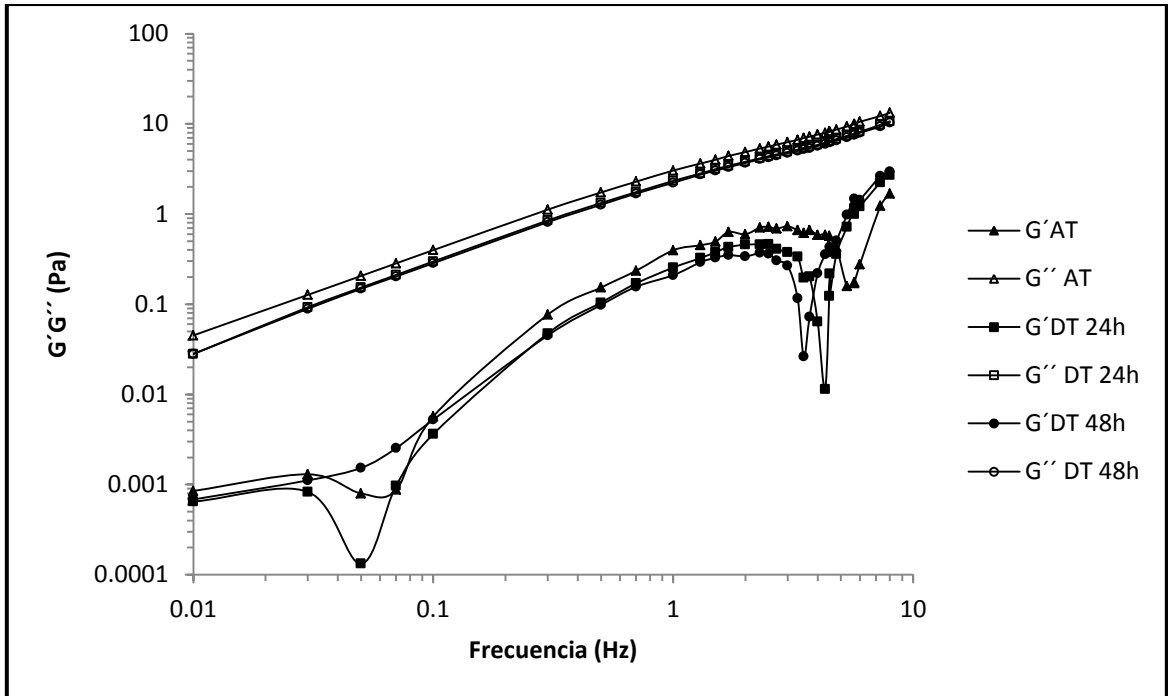


Figura 3.21. Barridos de frecuencia de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

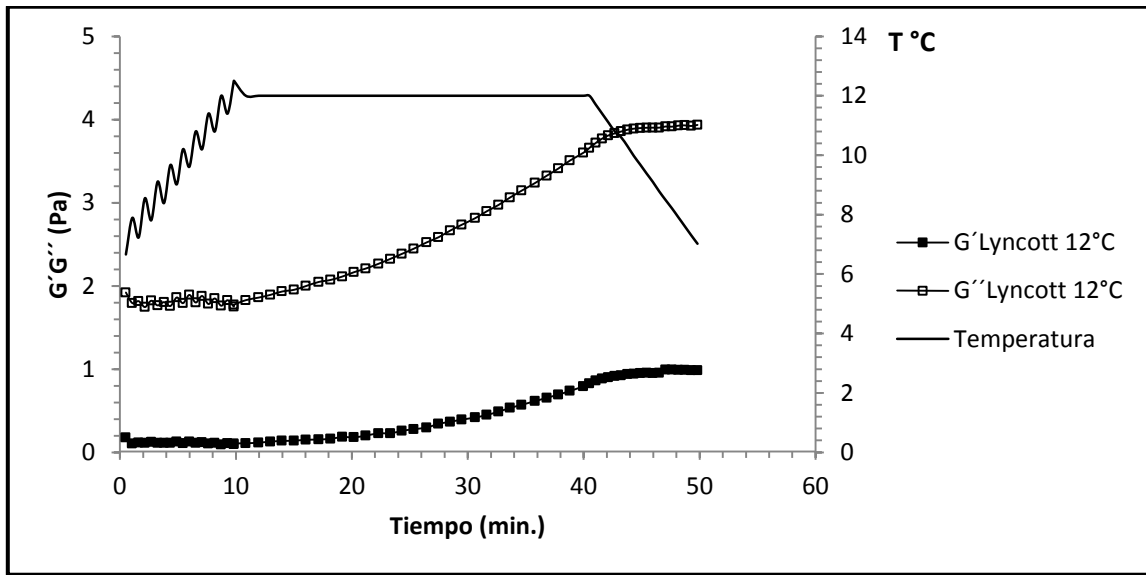


Figura 3.22. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Crema para batir Lyncott durante el temperado a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a frecuencia de 1 Hz).

c) Media crema Lala temperada a 12 °C

En el barrido de esfuerzo que se le realizó a esta crema el valor del esfuerzo obtenido en la zona lineal fue de 12 Pa. En la Figura 3.23 se observa que al inicio predominó el módulo viscoso (G'') pero hay un cruce aproximadamente a una frecuencia de 0.2 a 0.3 Hz y después de esto predominó el módulo elástico (G') para finalmente terminar la curva en valores de ambos módulos muy cercanos. Ambos módulos aumentaron conforme fue aumentando la frecuencia. Se vió un ligero aumento después del temperado a las 24 horas de almacenamiento en el módulo elástico, aunque a las 48 horas ya no siguió aumentando, el módulo viscoso se mantuvo constante antes y después del temperado.

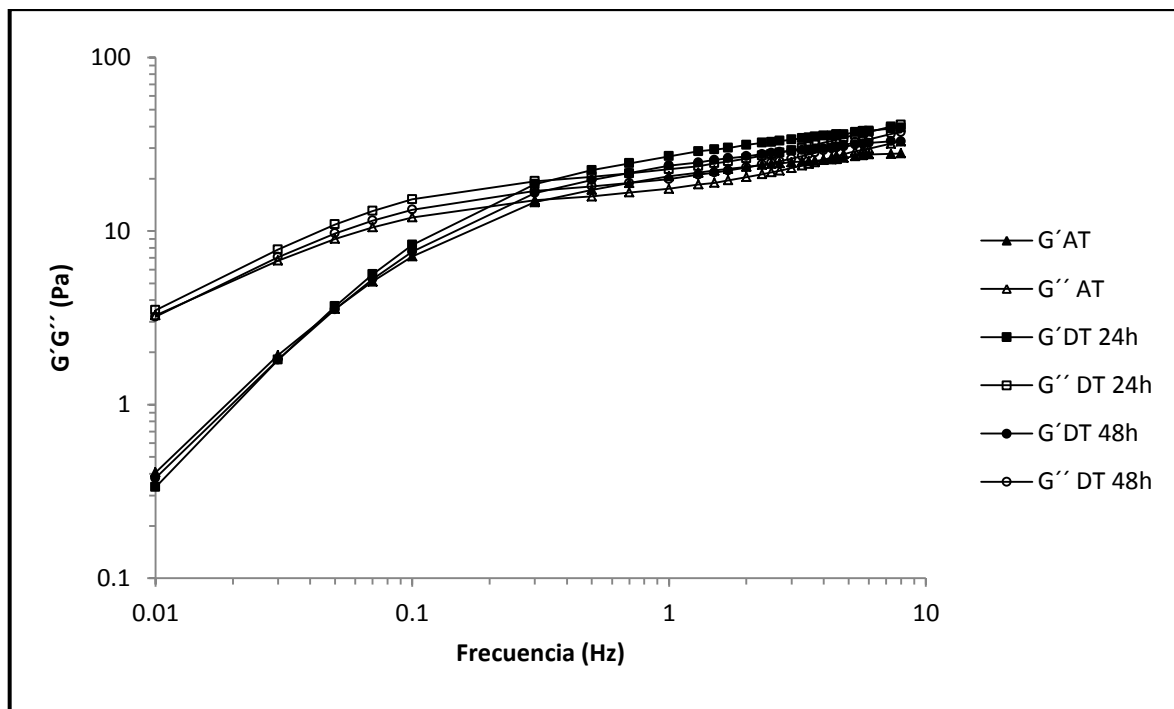


Figura 3.23. Barridos de frecuencia para la media crema Lala antes y después del temperado a 12 °C.

Comparando éstos resultados con el temperado a 25 °C para la media crema Lala, en los barridos de frecuencia para este temperado, los módulos (G' y G'') aumentaron progresivamente con el temperado y almacenamiento, mientras que con el temperado a 12 °C éstos permanecieron casi en el mismo valor. En estudios de temperado como los de Márquez y col. (2005c) se observó que después del temperado, en las cremas con 20% de

grasa no aumentaron en gran medida los parámetros reológicos debido a la insuficiencia de agregados de grasa por el bajo número de gotas. El porcentaje de grasa que tenía la media crema Lala sumado a la baja temperatura de calentamiento del temperado, ocasionó que no hubiera un cambio relevante después de este tratamiento. Por lo que los resultados se atribuyen al efecto que tiene la temperatura de temperado.

En la Figura 3.24 se observa que predominó el módulo elástico (G') durante todo el intervalo de tiempo, excepto en la etapa de mantenimiento a 12 °C en donde predominó el módulo viscoso. Durante el calentamiento de 7 a 12 °C los módulos disminuyeron, durante el mantenimiento a 12 °C éstos se mantuvieron ligeramente constantes aumentando en esta etapa una unidad y en el enfriamiento de 12 a 7 °C los módulos aumentaron. Este comportamiento presentado en la media crema Lala temperada a 12 y 25 °C se debe a que la viscosidad disminuye cuando la temperatura aumenta y viceversa, y ésto se aprecia en el seguimiento de temperado en el reómetro, aunque esto no ocurre con las otras cremas, debido a que una no contiene emulsificantes ni estabilizantes, lo que la hace muy inestable y la otra si contiene pero son diferentes y no sabemos en qué proporción.

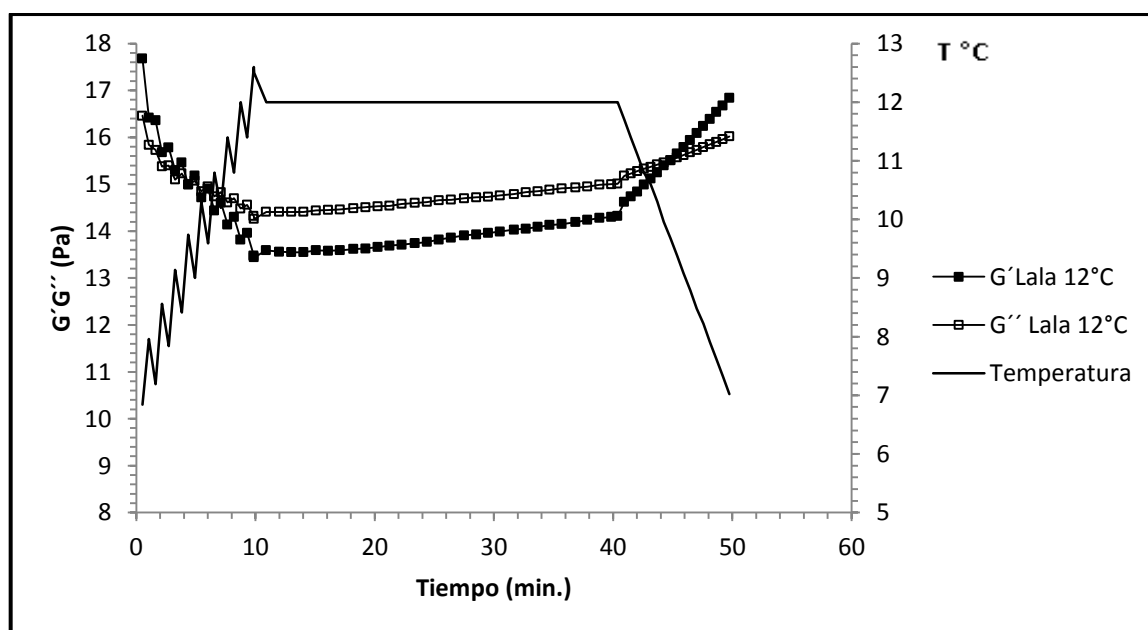


Figura 3.24. Módulos elástico y viscoso en función del tiempo. Media crema Lala durante el temperado a 12 °C (a frecuencia de 1 Hz).

Éstos resultados obtenidos fueron los esperados y comparados con el temperado a 25 °C, los módulos en este temperado fueron menores, ya que al disminuir la temperatura de calentamiento no permitió que se fusionaran más glóbulos de grasa y esto influyó en el aumento de la viscosidad y por lo tanto en los parámetros reológicos.

3.3.2 Tamaño de partícula antes y después del temperado a 12 °C

a) Crema natural temperada a 12 °C

En la Figura 3.25 la curva de distribución de tamaño antes del temperado presenta un comportamiento bimodal con picos alrededor de 4.5 μm aproximadamente las cuales correspondieron al 25% de las partículas y un pico alrededor de 90 μm con poco menos de 20% de partículas. Después del temperado a las 24 horas, el porcentaje de partículas pequeñas disminuyó en un 5%, mientras que las partículas de 90 μm aumentaron su tamaño a 150 μm y el porcentaje también aumentó en un 10%.

En el Cuadro 3.8 se observa que a las 24 horas después del temperado el tamaño de partícula promedio y los acumulados al 10, 50 y 90% aumentaron, pero a las 48 horas disminuyeron. Este comportamiento fue un tanto inesperado, ya que la crema visiblemente fue muy fluida después de la aplicación del temperado, e incluso el tamaño de partícula fue mayor con este temperado a 12 °C que con el temperado a 25 °C, por lo que el fenómeno que se presentó no fue coalescencia parcial, pudo haber ocurrido otro fenómeno de desestabilización como la coalescencia total con el tiempo de almacenamiento en refrigeración o la floculación y esto provocó un tamaño de partícula menor, y esto mismo ocurrió con el temperado a 25 °C para esta crema.

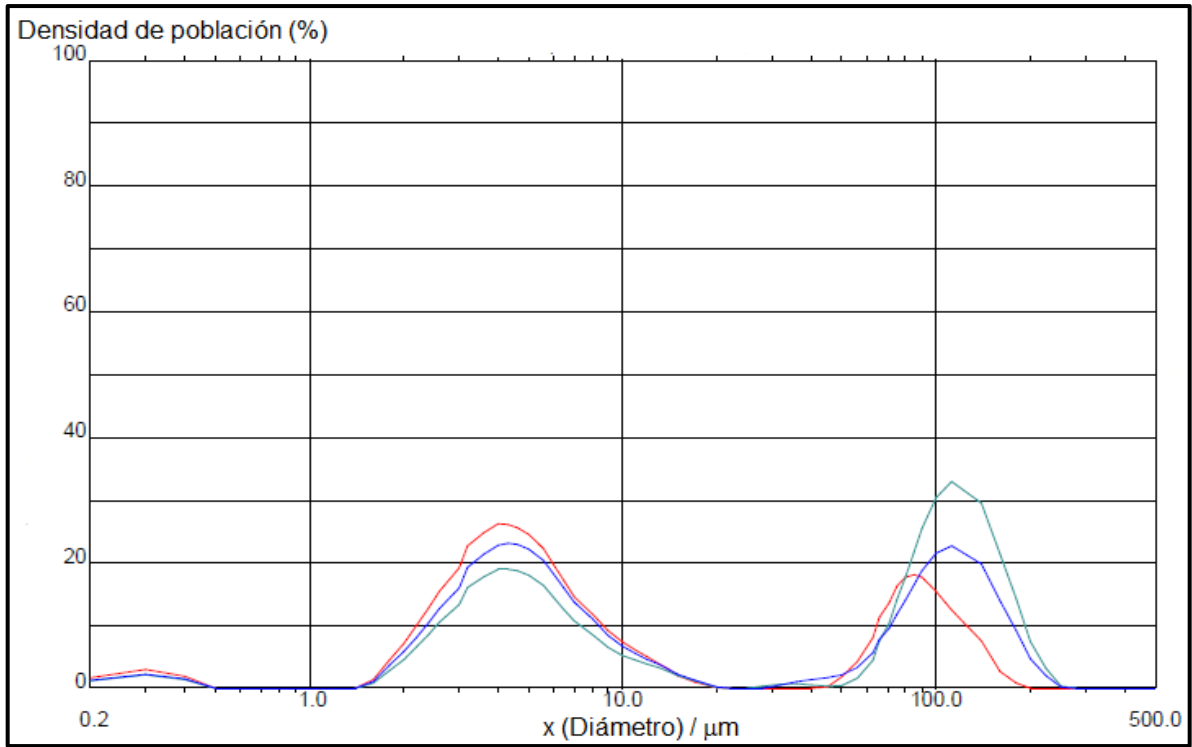


Figura 3.25. Curva de distribución de tamaño de partícula de la crema natural antes y después del temperado a 12 °C. Roja: antes del temperado, verde: 24 horas después del temperado, azul: 48 horas después del temperado.

Cuadro 3.8. Tamaño de partícula de la crema natural antes y después del temperado a 12 °C.

Temperado a 12°C	Diámetro (μm)			Promedio
	10% acumulado	50% acumulado	90% acumulado	
Antes	1.96	5.12	99.67	28.73
24 horas después	2.65	75.72	155.40	71.69
48 horas después	2.31	7.33	125.63	44.36

b) Crema para batir Lyncott temperada a 12 °C

En la Figura 3.26 la curva de distribución de tamaño antes del temperado presenta un comportamiento bimodal con picos alrededor de 3 μm con 25% de partículas y un pico alrededor de 150 μm con 25% de partículas. Después del temperado el porcentaje de

partículas pequeñas disminuyó en un 10%, a las 24 horas de almacenamiento; el porcentaje de partículas de 150 μm aumentó en un 20%, mientras que a las 48 horas de almacenamiento disminuyó el tamaño a 100 μm con un 35% de partículas.

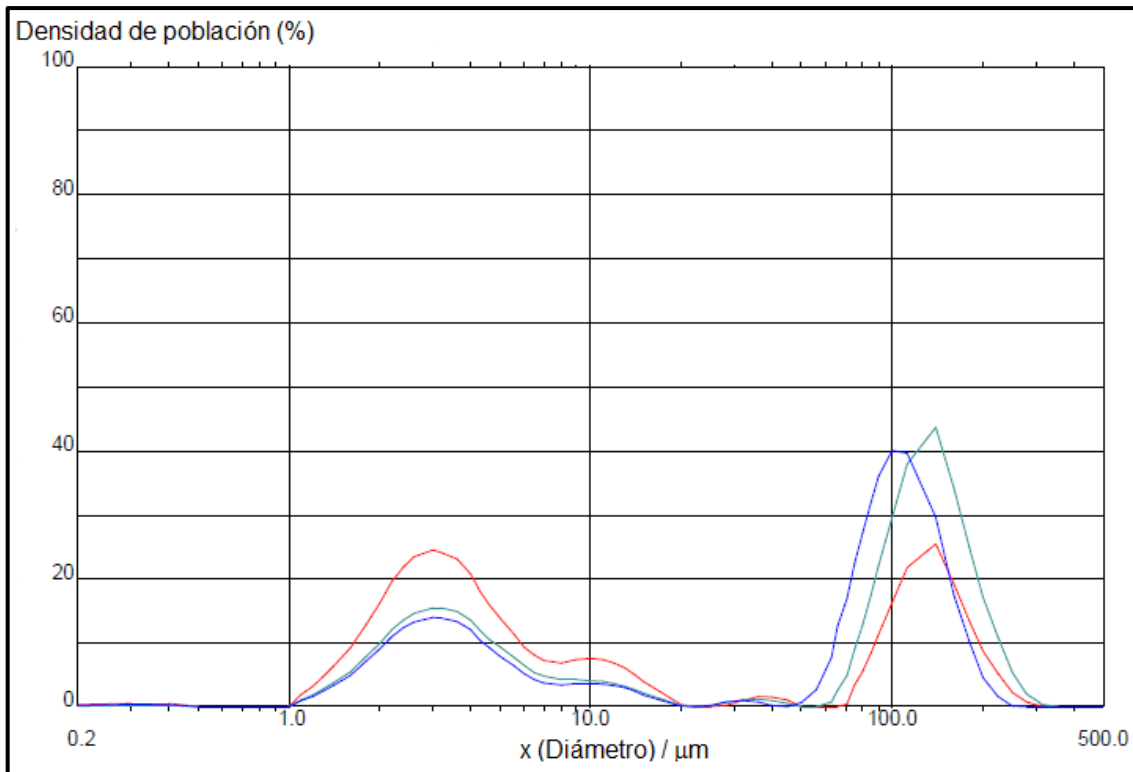


Figura 3.26. Curva de distribución de tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 12 °C. Roja: antes del temperado, verde: 24 horas después del temperado, azul: 48 horas después del temperado.

En el Cuadro 3.9 se muestra el tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 12 °C y se observa que el tamaño promedio de las partículas y el acumulado al 10, 50 y 90% aumentó con el temperado con 24 horas en almacenamiento, pero con 48 horas en almacenamiento disminuyó. Con la crema Lyncott temperada a 25 °C se observó un aumento progresivo en el tamaño de partícula después de temperada y almacenada, esto debido a que la temperatura de calentamiento fue más alta y permitió un mayor contacto de los glóbulos de grasa y al temperar a 12 °C la temperatura no es suficiente para fusionar los glóbulos de grasa y permitir un mayor aumento en el tamaño de partícula. Al igual que con la media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y

estabilizantes a las 24 horas se presentó un aumento del tamaño debido a la formación de agregados de gotas, pero a las 48 horas el tamaño disminuye atribuyéndose a la coalescencia total con el tiempo de almacenamiento en refrigeración y se debió a la fusión de estos agregados en una sola gota de menor tamaño. Cabe mencionar que en la crema natural temperada a 12 y 25 °C no hubo un aumento de la consistencia después del temperado y almacenamiento.

Cuadro 3.9. Tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 12 °C.

Diámetro (µm)				
Temperado a 12 °C	10% acumulado	50% acumulado	90% acumulado	Promedio
Antes	1.85	5.68	151.16	50.73
24 horas después	2.43	100.07	169.97	87.77
48 horas después	2.11	63.29	138.98	62.15

c) Media crema Lala temperada a 12 °C

En la Figura 3.27 la curva de distribución de tamaño antes del temperado, presenta un comportamiento bimodal con picos alrededor de 3.5 µm con un 10% de partículas aproximadamente y un pico de 150 µm con un 30% de partículas. Después del temperado el porcentaje de partículas pequeñas disminuyó ligeramente, mientras que el porcentaje de partículas de 150 µm aumentó en un 10% a las 24 horas de almacenamiento. El mismo comportamiento fue obtenido en esta crema temperada a 25 °C.

En el Cuadro 3.10 se observa que el temperado tuvo efecto en el tamaño de partícula promedio y en el acumulado al 10 y 50% ya que éste aumentó después del tratamiento a las 24 horas de almacenamiento, aunque a las 48 horas disminuyó, en el acumulado al 90% el diámetro de las partículas disminuyó después del temperado. Con esta misma crema

temperada a 25 °C se presentó el mismo fenómeno a las 48 horas debido a la coalescencia total ocasionada por el tiempo de almacenamiento en refrigeración.

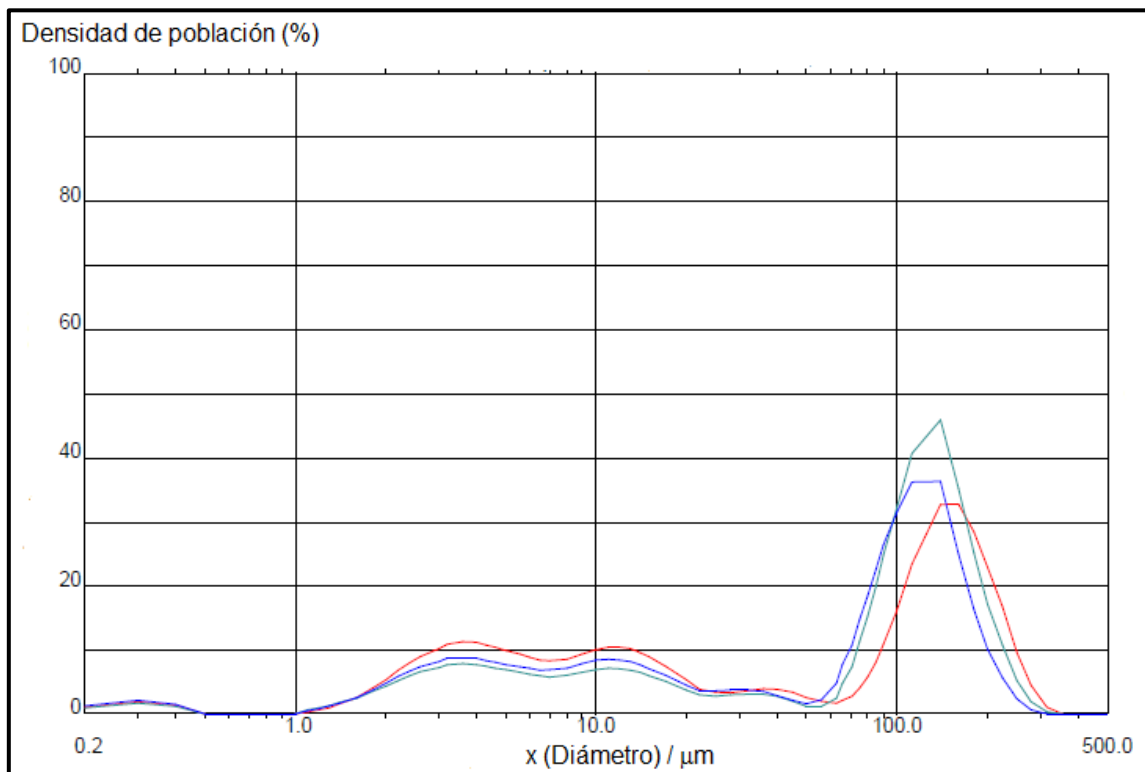


Figura 3.27. Curva de distribución del tamaño de partícula de la media crema Lala antes y después del temperado a 12 °C. Roja: antes del temperado, verde: 24 horas después del temperado, azul: 48 horas después del temperado.

Cuadro 3.10. Tamaño de partícula de la media crema Lala antes y después del temperado a 12 °C.

Temperado a 12 °C	Diámetro (μm)			Promedio
	10% acumulado	50% acumulado	90% acumulado	
Antes	2.49	61.17	177.49	75.96
24 horas después	2.65	93.47	164.08	82.50
48 horas después	2.36	69.63	147.73	67.37

3.3.3 Prueba textural antes y después del temperado a 12 °C

a) Crema para batir Lyncott temperada a 12 °C

En la Figura 3.28 se muestra que la curva después del temperado con 48 horas en almacenamiento estuvo por encima de las demás, aunque no hubo gran diferencia entre la curva después del temperado con 24 horas en almacenamiento y la curva antes del temperado. En la parte negativa de la curva que representa las propiedades adhesivas tampoco se apreció un cambio, esto debido a que el temperado a 12 °C no causó gran impacto en el aumento de los parámetros texturales, esto porque la temperatura no fue suficiente para permitir una fusión de los glóbulos de grasa. Esto mismo ocurrió en las pruebas reológicas con esta crema temperada a 12 °C. Visiblemente no aumentó la viscosidad de la crema después del temperado y almacenamiento, ésta siguió siendo líquida.

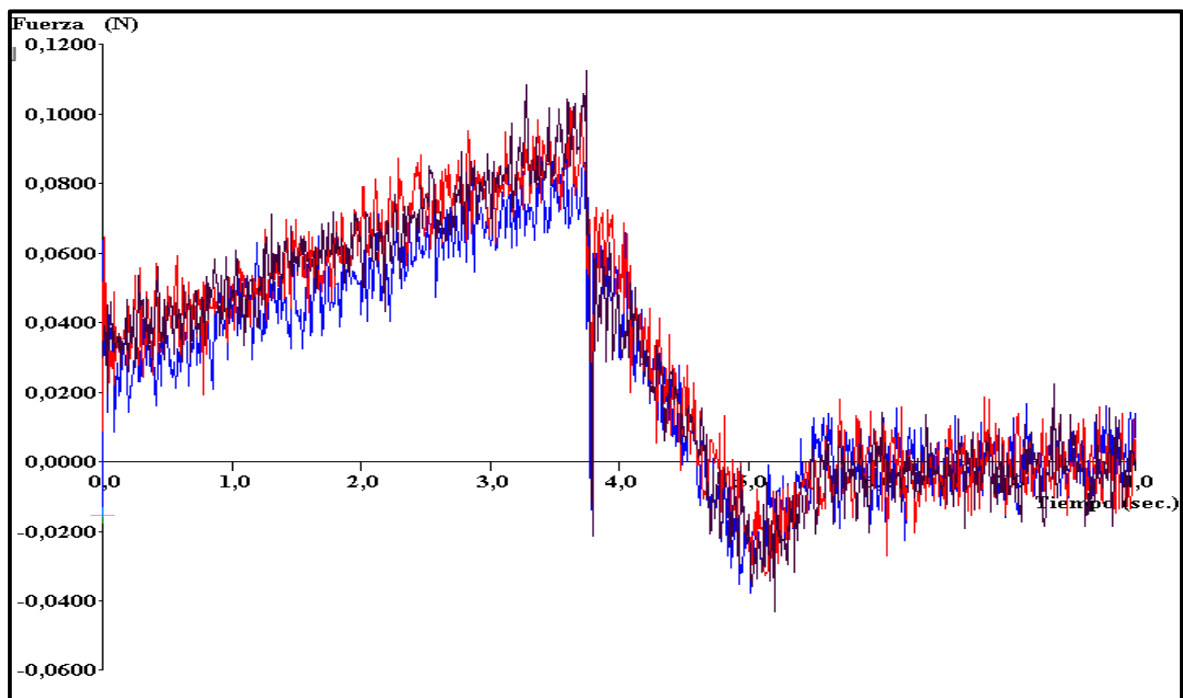


Figura 3.28. Curva de penetración y retirada de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 12 °C. Azul: antes del ciclo, roja: 24 horas después del temperado, negra: 48 horas después del temperado.

En el Cuadro 3.11 se observa que todos los parámetros texturales antes y después del temperado y tiempo de almacenamiento se mantuvieron constantes. En comparación con el temperado a 25 °C, éste sí permitió un aumento en los parámetros texturales después del temperado y almacenamiento y la diferencia de los lotes entre las cremas utilizadas para los dos temperados pudo ocasionar alguna diferencia entre ellas.

Cuadro 3.11. Parámetros texturales de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 12 °C.

Temperado a 12 °C	Dureza (N)	Fuerza Adhesiva (N)	Adhesividad (N*s)	Estiramiento (mm)
Antes	0.101	-0.037	-0.011	5.92
24 horas después	0.101	-0.037	-0.011	5.92
48 horas después	0.107	-0.042	-0.014	6.96

b) Media crema Lala temperado a 12 °C

En la Figura 3.29 se observa que la curva después del temperado a las 24 horas estuvo por encima que la curva antes del temperado, provocado por la coalescencia parcial, aunque la curva después del temperado a las 48 horas ya no aumentó más que en una unidad. Las propiedades adhesivas que se reflejan en la parte negativa de la curva aumentaron después del temperado a las 24 horas de almacenamiento y a las 48 permanecieron constantes.

En el Cuadro 3.12 se muestran los parámetros texturales en donde la dureza, fuerza adhesiva y adhesividad aumentaron después del temperado a las 24 horas de almacenamiento, pero a las 48 horas solo se observó un pequeño aumento. A diferencia del temperado a 25 °C con esta misma crema, no se atribuye el resultado obtenido a las 48 horas por efecto de la coalescencia total con el tiempo de almacenamiento en refrigeración, sino por la baja cantidad de grasa que no permite que se formen más agregados de gotas de ésta y así favorecer el aumento de los parámetros texturales.

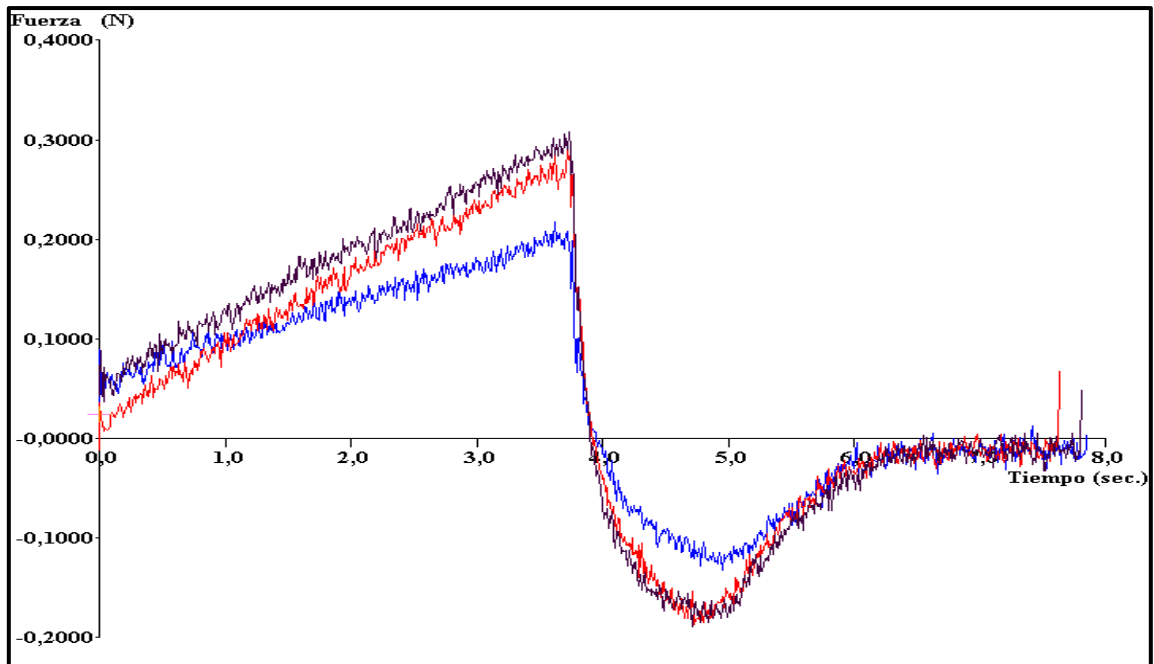


Figura 3.29. Curva de penetración y retirada de la media crema Lala antes y después del templado a 12 °C. Azul: antes del templado, roja: 24 horas después del templado, negra: 48 horas después del templado.

Cuadro 3.12. Parámetros texturales de la media crema Lala antes y después del templado a 12 °C.

Temperado a 12 °C	Dureza (N)	Fuerza Adhesiva (N)	Adhesividad (N*s)	Estiramiento (mm)
Antes	0.22	-0.13	-0.18	25.73
24 horas después	0.30	-0.18	-0.23	26.05
48 horas después	0.31	-0.19	-0.25	27.04

3.4 Análisis estadístico

Se realizó un diseño factorial general con dos factores:

1. Crema

Lyncott (30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes)

Lala (20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes)

Natural (30% de grasa sin emulsificantes y estabilizantes)

2. Tratamiento

AT12°C: antes de temperar a 12 °C

AT25°C: antes de temperar a 25 °C

T12°C 24h: temperado a 12 °C con 24 horas en almacenamiento

T25°C 24h: temperado a 25 °C con 24 horas en almacenamiento

T12°C 48h: temperado a 12 °C con 48 horas en almacenamiento

T25°C 48h: temperado a 25 °C con 48 horas en almacenamiento

Para el análisis estadístico los datos que se tomaron en cuenta fueron el promedio del tamaño de partícula y parámetros texturales y para los parámetros reológicos se tomó en cuenta el promedio del valor máximo de G' y G'' .

Para la crema natural no se tomaron en cuenta los parámetros texturales (dureza, fuerza adhesiva, adhesividad, estiramiento) y reológicos (módulo elástico G' , módulo viscoso G'') ya que esta crema era muy líquida y las medias no eran del todo confiables debido a que los datos no fueron muy repetibles entre sí por falta de sensibilidad del instrumento a bajas frecuencias, por lo que se decidió omitirlas en el análisis estadístico.

Se realizó la prueba de Tuckey la cual indicó si hubo o no diferencia significativa. En las gráficas de efectos principales, las medias que no compartieron una letra fueron significativamente diferentes. En todas las gráficas de interacción el valor de p de

interacción (crema, tratamiento, crema*tratamiento) fue menor a 0.05, por lo que hubo interacción en todos los casos, lo cual significa que el efecto del tratamiento (temperado), fue diferente para cada crema.

3.4.1 Parámetros reológicos

a) Módulo elástico (G')

La Figura 3.30 muestra que hubo diferencia entre las cremas y entre los tratamientos. La media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes tuvo un módulo elástico mayor que la crema para batir Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes. El temperado a 25 °C produjo mayor efecto que a 12 °C y después de 24 y 48 horas de almacenamiento después del temperado no hubo diferencia significativa en el módulo elástico y se puede observar en el Cuadro 3.13 en donde las medias que no compartieron una letra fueron significativamente diferentes.

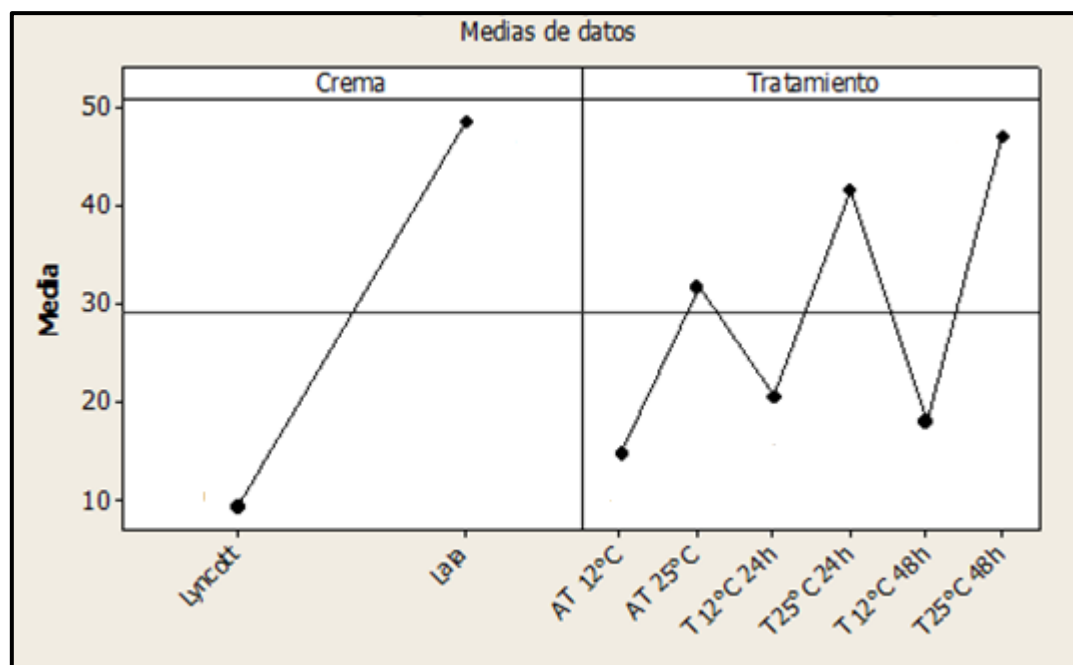


Figura 3.30. Efectos principales para el módulo elástico (G').

Cuadro 3.13. Prueba de Tuckey para el módulo elástico.

Módulo elástico G' (Pa)					
			Tratamiento		
			Crema		
		AT 25 °C		31.7	BC
		T 12 °C (24h)		20.6	CD
		T 25 °C (24h)		41.5	AB
Lala	49.5	A	T 12 °C (48h)	18.00	CD
Lyncott	9.3	B	T 25 °C (48h)	47.00	A

En la Figura 3.31 se observa que en la crema para batir Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes no hubo un cambio en el módulo elástico con el temperado a 12 °C ya que el valor del módulo se mantiene constante antes y después del tratamiento, aunque con el temperado a 25 °C se notó un ligero aumento después del temperado y almacenamiento tanto de 24 y 48 horas. En la media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes en el temperado a 25 °C se observó un ligero aumento en el módulo elástico después del temperado y almacenamiento y con el temperado a 12 °C sólo aumentó el módulo elástico después del temperado con 24 horas en almacenamiento ya que a las 48 horas disminuyó. El efecto del temperado en el módulo elástico fue diferente para la crema Lyncott y para la media crema Lala, lo que indicó que si hubo interacción.

Cabe mencionar que en la crema para batir Lyncott el lote fue diferente para cada temperado debido a que el tiempo de vida era corto, por lo que se utilizaron 2 lotes y en la gráfica de esta crema se nota la diferencia de la media del módulo elástico antes de los temperados.

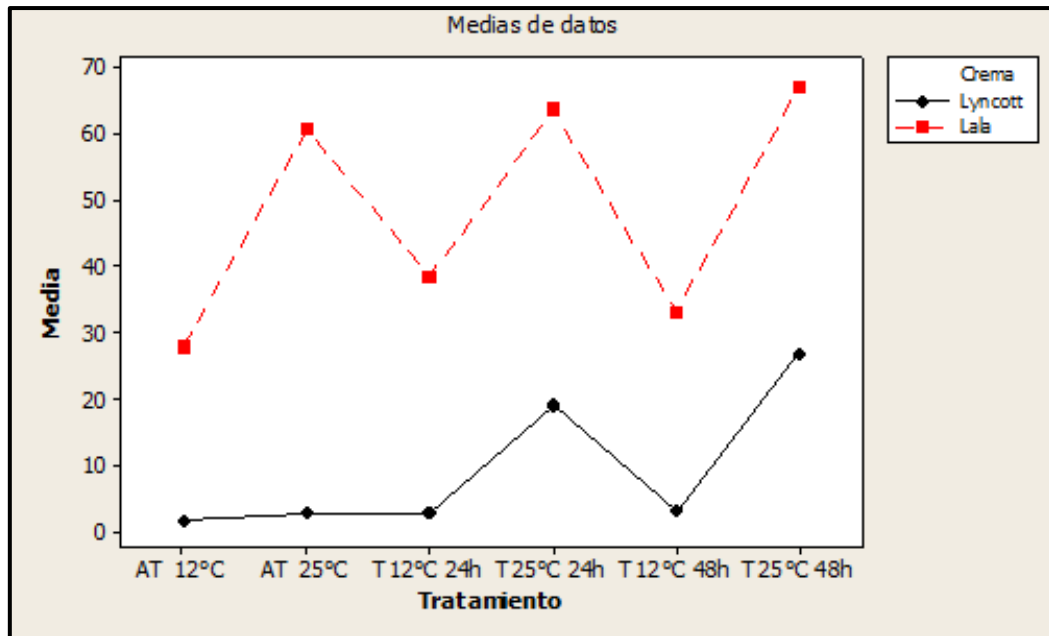


Figura 3.31. Interacción para el módulo elástico (G').

b) Módulo viscoso (G'')

En la Figura 3.32 se observa que hubo diferencia entre las cremas y entre los tratamientos. La media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes tuvo un módulo viscoso mayor que la crema para batir Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes. El temperado a 25 °C produjo mayor efecto en el módulo viscoso que el temperado a 12 °C ya que a esta temperatura no hubo diferencia significativa antes y después de éste. En el Cuadro 3.14 las medias que no compartieron una letra fueron significativamente diferentes.

En la Figura 3.33 se muestra que en la crema para batir Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes el módulo viscoso se mantuvo constante antes y después del temperado a 12 °C, mientras que con el temperado a 25 °C se notó un aumento considerable en el módulo después del temperado con 24 horas en almacenamiento aunque a las 48 horas disminuyó. Con la media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes en ambos temperados el módulo viscoso se mantiene ligeramente constante antes y después del tratamiento y almacenamiento. El efecto del temperado en el módulo

viscoso fue diferente para la crema Lyncott y para la media crema Lala, lo que indicó que si hubo interacción.

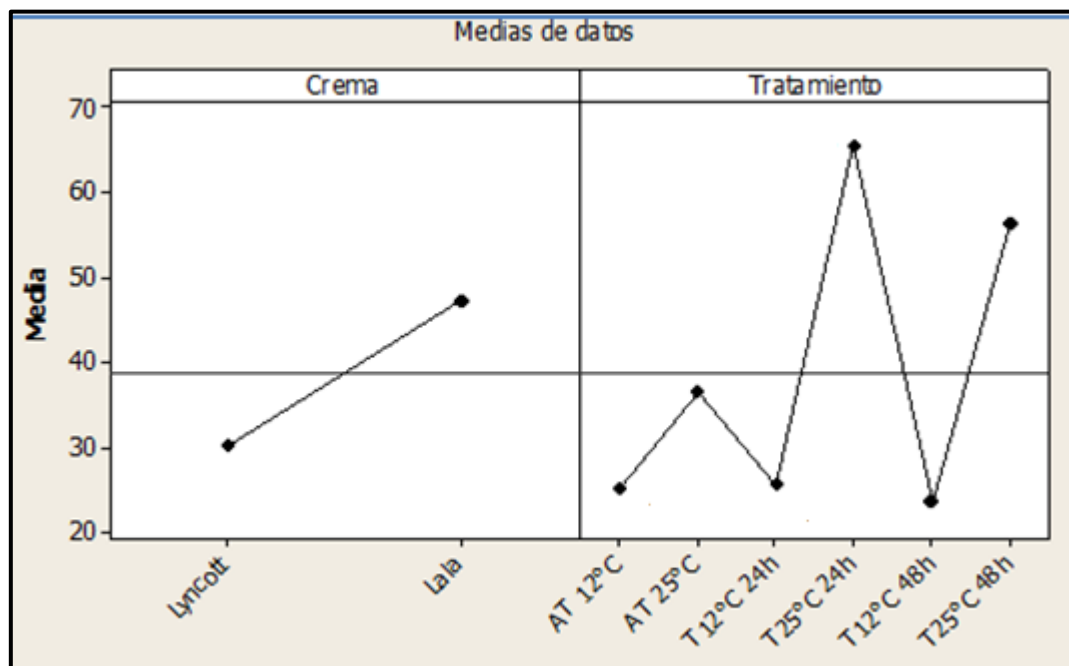


Figura 3.32. Efectos principales para el módulo viscoso (G'').

Cuadro 3.14. Prueba de Tuckey para el módulo viscoso.

Módulo viscoso G'' (Pa)					
			Tratamiento		
Crema			AT 12 °C	25.00	BC
			AT 25 °C	36.4	ABC
			T 12 °C (24h)	25.5	BC
			T 25 °C (24h)	65.5	A
Lala	47.2	A	T 12 °C (48h)	23.5	C
Lyncott	30.2	B	T 25 °C (48h)	56.5	AB

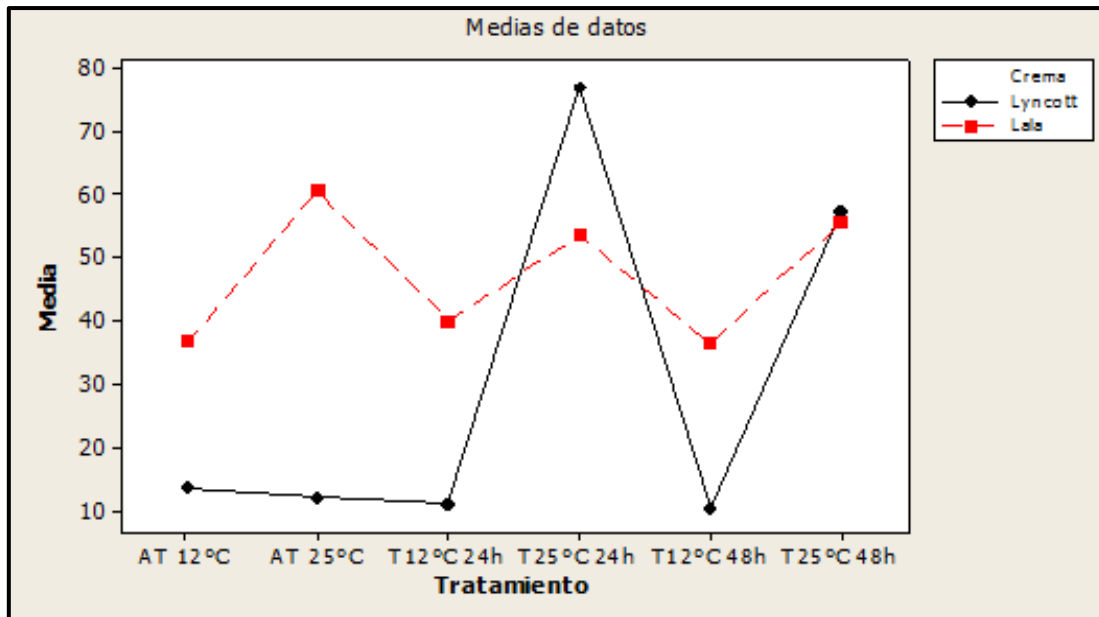


Figura 3.33. Interacción para el módulo viscoso (G'').

3.4.2 Tamaño de partícula

La Figura 3.34 muestra que hubo diferencia entre las cremas y entre los tratamientos y la crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes fue la que tuvo el mayor tamaño de partícula, y por lo tanto el mayor efecto. Después de ambos temperados, a las 24 horas de almacenamiento el tamaño de partícula aumenta y a las 48 horas disminuye. Después del temperado a 25 °C no hay diferencia significativa a las 24 y 48 horas de almacenamiento. En el Cuadro 3.15 las medias que no compartieron una letra fueron significativamente diferentes.

En la Figura 3.35 se observa que la crema Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes en ambos temperados aumentó el tamaño de partícula después de éste a las 24 horas en almacenamiento aunque a las 48 horas con el temperado a 12 °C el tamaño de partícula disminuyó y con el temperado a 25 °C aumentó ligeramente. En la media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes aumentó el tamaño de partícula después de ambos temperados a las 24 horas en almacenamiento y a las 48 horas disminuyó. En la crema natural con 30% de grasa sin emulsificantes y estabilizantes con ambos temperados aumentó el tamaño de partícula después de 24 horas en almacenamiento

aunque este aumento estuvo más marcado con el temperado a 12 °C, después de 48 horas en almacenamiento en ambos temperados el tamaño de partícula disminuyó. El efecto del temperado en el tamaño de partícula fue diferente para la crema Lyncott, para la media crema Lala y para la crema natural, lo que indicó que si hubo interacción.

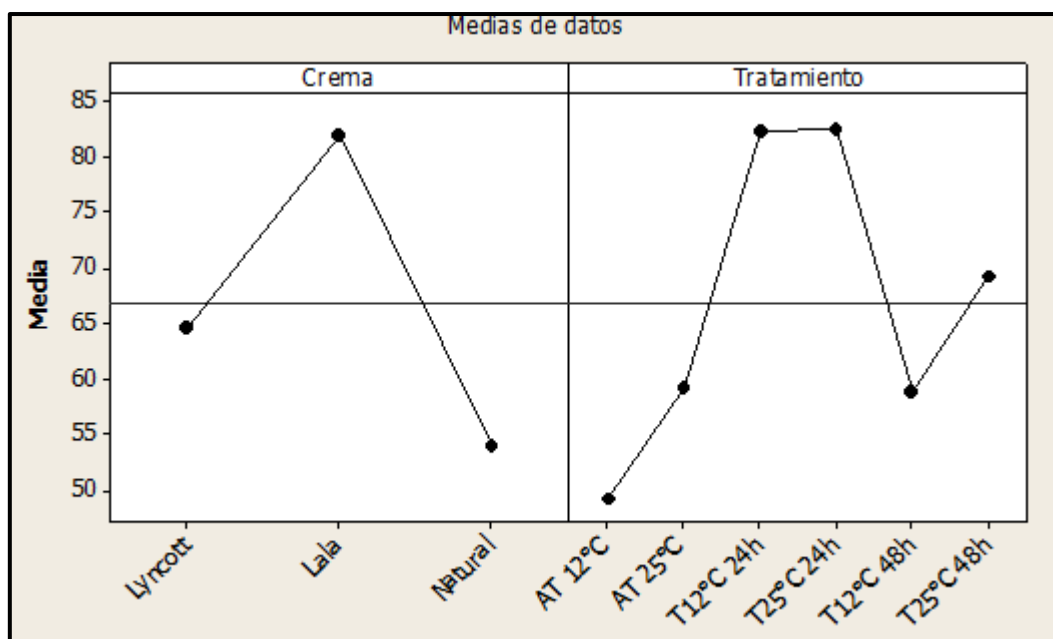


Figura 3.34. Efectos principales para el tamaño de partícula.

Cuadro 3.15. Prueba de Tuckey para el tamaño de partícula.

Tamaño de partícula (µm)					
Crema			Tratamiento		
			Treatment	Mean	Group
			AT 12 °C	49.19	C
			AT 25 °C	59.27	BC
			T 12 °C (24h)	82.34	A
Lala	82.13	A	T 25 °C (24h)	82.62	A
Lyncott	64.65	B	T 12 °C (48h)	58.84	BC
Natural	53.97	C	T 25 °C (48h)	69.23	AB

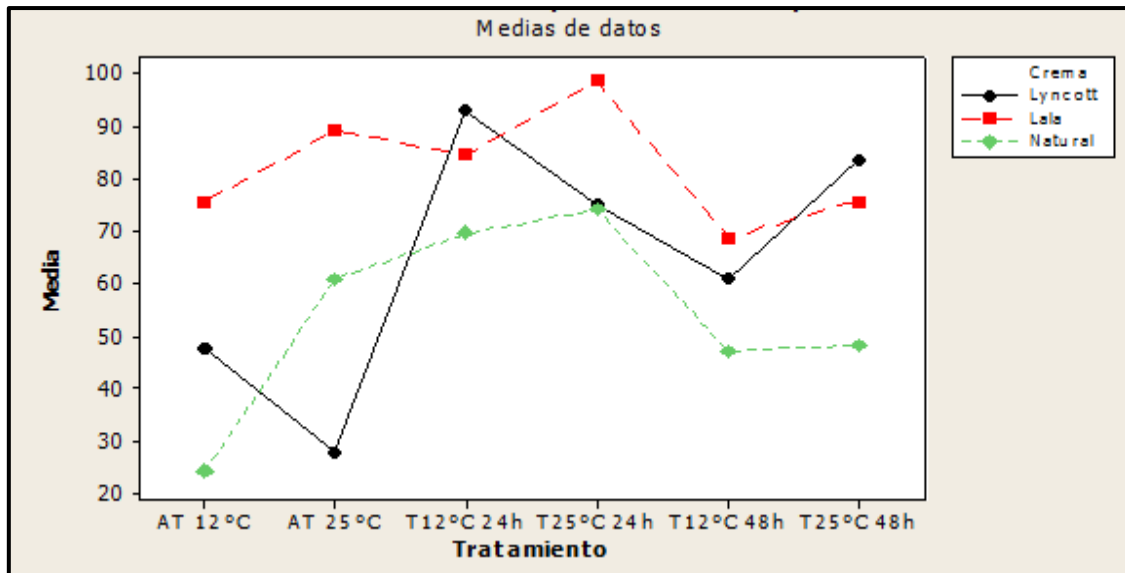


Figura 3.35. Interacción para el tamaño de partícula.

3.4.3 Parámetros texturales

a) Dureza

La Figura 3.36 muestra que hubo diferencia entre las cremas y entre los tratamientos. La crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes presentó mayor dureza que la crema para batir Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes. El temperado a 25 °C tuvo mayor efecto en la dureza. Después de ambos temperados aumentó ligeramente la dureza con 24 y 48 horas en almacenamiento por lo que no hubo diferencia significativa y esto se observa en el Cuadro 3.16 en donde las medias que no compartieron una letra fueron significativamente diferentes.

En la Figura 3.37 se observa que con el temperado a 25 °C ambas cremas fueron aumentando la dureza con el temperado y tiempo de almacenamiento. Con el temperado a 12 °C la dureza se mantuvo constante en la crema para batir Lyncott con 30% de grasa y en la media crema Lala con 20% de grasa se notó un aumento después del temperado a las 24 horas de almacenamiento. El efecto del temperado en la dureza fue diferente para la crema Lyncott y para la media crema Lala, lo que indicó que si hubo interacción.

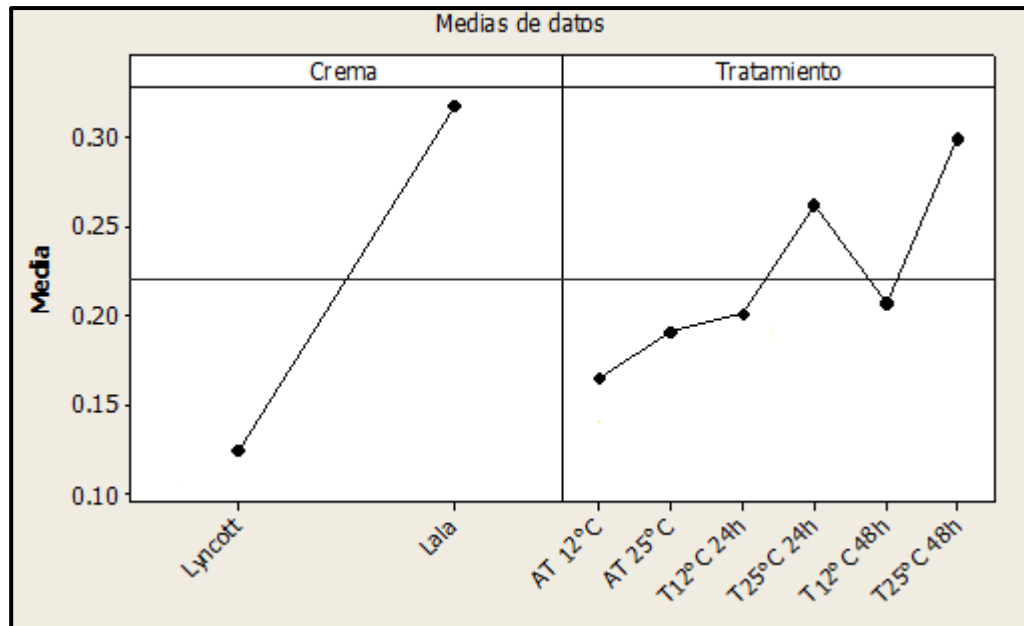


Figura 3.36. Efectos principales para la dureza.

Cuadro 3.16. Prueba de Tuckey para la dureza.

Dureza (N)					
Crema			Tratamiento		
			AT 12 °C	0.1655	C
AT 25 °C	0.1907	BC			
T 12 °C (24h)	0.2007	BC			
T 25 °C (24h)	0.2614	AB			
Lala	0.3167	A	T 12 °C (48h)	0.2066	BC
Lyncott	0.1246	B	T 25 °C (48h)	0.2986	A

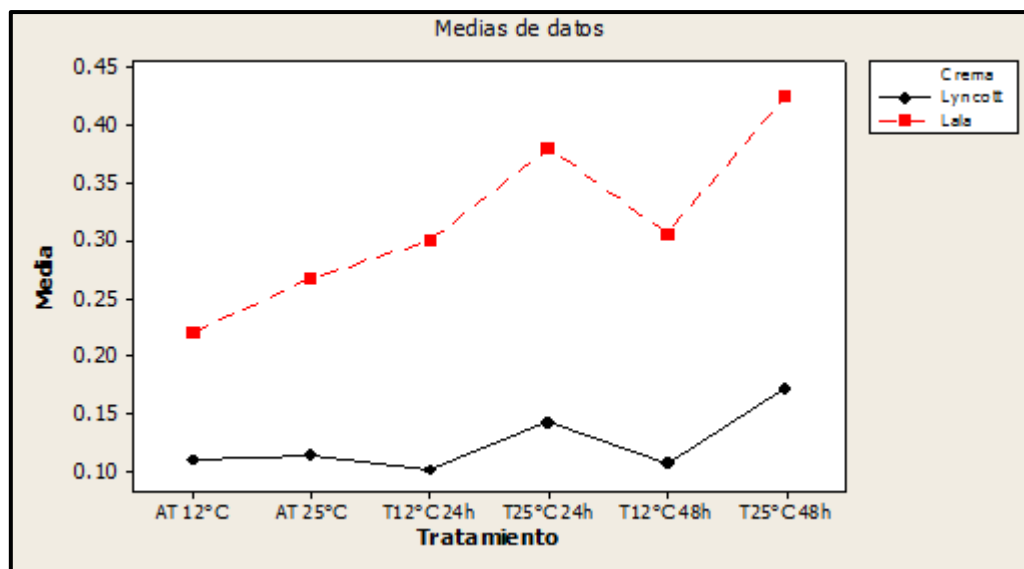


Figura 3.37. Interacción para la dureza.

b) Fuerza adhesiva

La Figura 3.38 muestra que la crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes presentó una mayor fuerza adhesiva que la crema Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes y por lo tanto causó mayor efecto. El temperado a 25 °C tuvo mayor efecto en la fuerza adhesiva. La fuerza adhesiva no aumentó después de ambos temperados con 24 y 48 horas en almacenamiento por lo que no hubo diferencia significativa, como se muestra en el Cuadro 3.17 en donde las medias que no compartieron una letra fueron significativamente diferentes.

En la Figura 3.39 se observa que en la crema para batir Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes temperada a 12 °C la fuerza adhesiva se mantuvo constante antes y después del temperado y tiempo de almacenamiento, mientras que con el temperado a 25 °C se notó un ligero aumento después del temperado y almacenamiento. Con la media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes en ambos temperados después de 24 horas en almacenamiento aumentó ligeramente la fuerza adhesiva y a las 48 horas disminuyó. El efecto del temperado en la fuerza adhesiva fue diferente para la crema Lyncott y para la media crema Lala, lo que indicó que si hubo interacción.

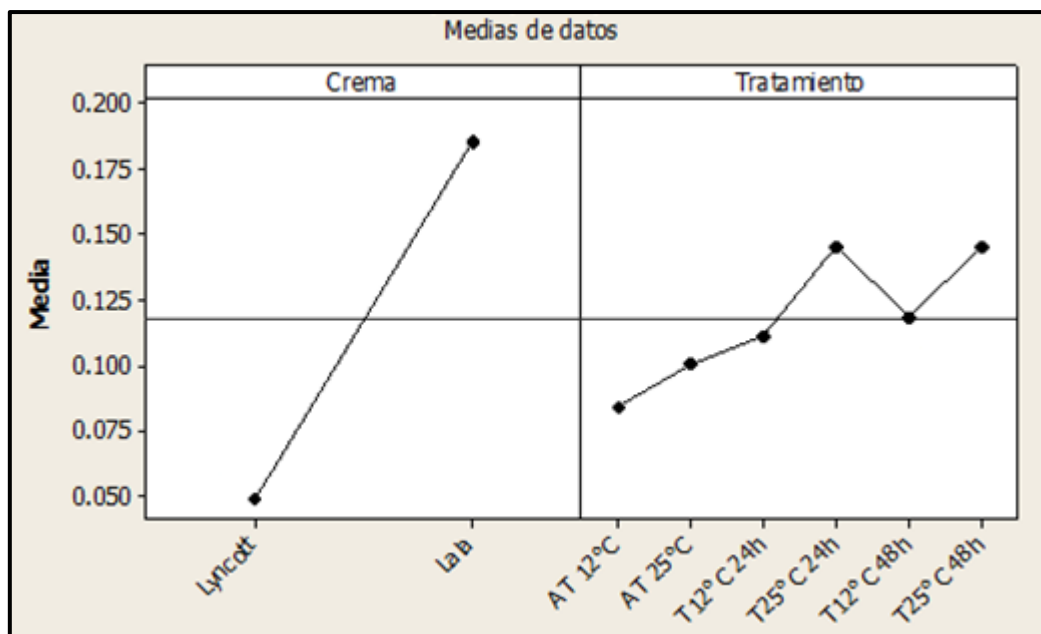


Figura 3.38. Efectos principales para la fuerza adhesiva.

Cuadro 3.17. Prueba de Tuckey para la fuerza adhesiva.

Fuerza adhesiva (N)					
Crema			Tratamiento		
			AT 12 °C	0.0840	D
AT 25 °C	0.1007	C			
T 12 °C (24h)	0.1108	BC			
T 25 °C (24h)	0.1453	A			
Lala	0.1856	A	T 12 °C (48h)	0.1183	B
Lyncott	0.0492	B	T 25 °C (48h)	0.1457	A

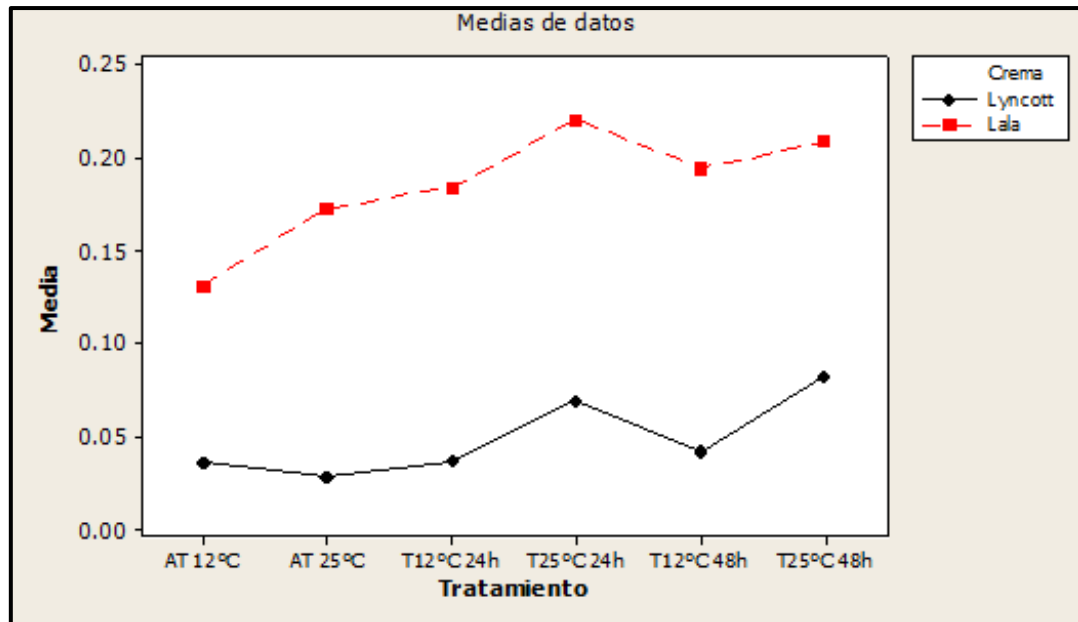


Figura 3.39. Interacción para la fuerza adhesiva.

c) Adhesividad

En la Figura 3.40 se muestra que la crema que provocó mayor efecto fue la media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes ya que presentó una mayor adhesividad que la crema Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes. El temperado a 25 °C tuvo mayor efecto en la adhesividad. La adhesividad no aumentó después de ambos temperados con 24 y 48 horas en almacenamiento por lo que no hubo diferencia significativa, lo cual se puede observar en el Cuadro 3.18 en donde las medias que no compartieron una letra fueron significativamente diferentes.

En la Figura 3.41 se observa que la media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes temperada a 25 °C la adhesividad aumentó después de éste a las 24 horas en almacenamiento y con 48 horas disminuyó, mientras que con el temperado a 12 °C se notó un ligero aumento con el temperado y almacenamiento. Con la crema para batir Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes temperada a 12 °C los valores de la adhesividad se mantuvieron constantes antes y después del temperado. Con el

temperado a 25 °C se observó un ligero aumento después del temperado y tiempo de almacenamiento. El efecto del temperado en la adhesividad fue diferente para la crema Lyncott y para la media crema Lala, lo que indicó que si hubo interacción.

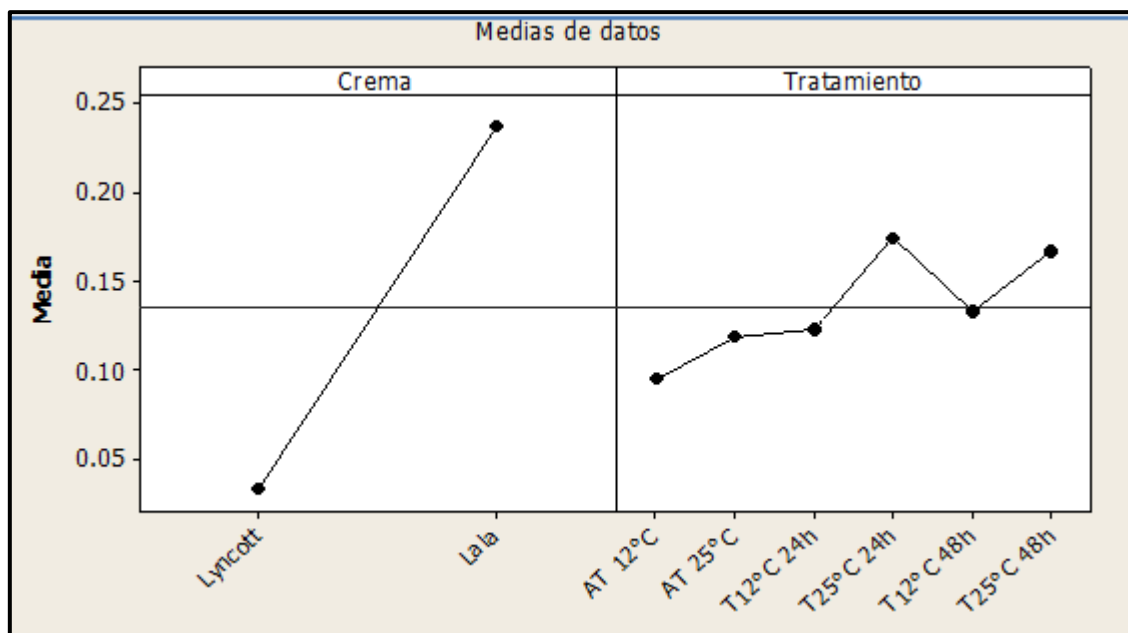


Figura 3.40. Efectos principales para la adhesividad.

Cuadro 3.18. Prueba de Tuckey para la adhesividad.

Adhesividad (N*s)					
Crema			Tratamiento		
			Tratamiento	Media	Letras
		AT 12 °C	0.0954	C	
		AT 25 °C	0.1193	BC	
		T 12 °C (24h)	0.1226	BC	
		T 25 °C (24h)	0.1742	A	
Lala	0.2374	A	T 12 °C (48h)	0.1333	B
Lyncott	0.0332	B	T 25 °C (48h)	0.1670	A

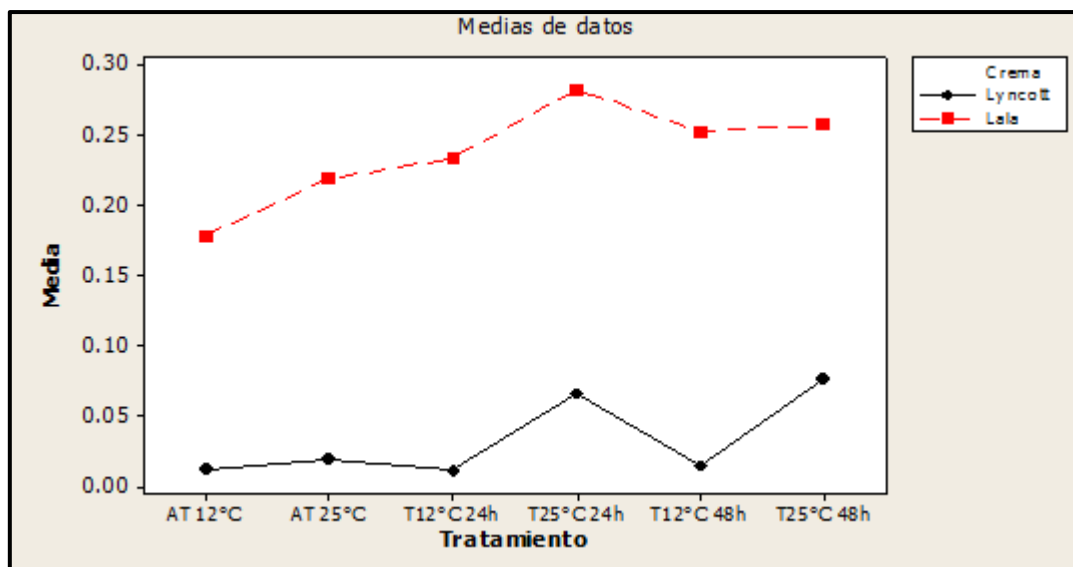


Figura 3.41. Interacción para la adhesividad.

d) Estiramiento

En la Figura 3.42 se muestra que el estiramiento fue mayor en la media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes comparado con la crema para batir Lyncott con 30% de grasa. El temperado a 25 °C tuvo mayor efecto en el estiramiento. No hubo diferencia significativa en el estiramiento antes y después del temperado a 12 °C, y después del temperado a 25 °C se notó mayor diferencia aunque comparten la misma letra. En el Cuadro 3.19 las medias que no compartieron una letra fueron significativamente diferentes.

En la Figura 3.43 se observa que con el temperado a 12 °C en ambas cremas el estiramiento fue constante antes y después del temperado y tiempo de almacenamiento. Con el temperado a 25 °C en la media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes el estiramiento se mantuvo ligeramente constante, mientras que con la crema para batir Lyncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes el estiramiento aumentó después del temperado con 24 horas en almacenamiento y con 48 horas se mantuvo. El efecto del temperado en el estiramiento fue diferente para la crema Lyncott y para la media crema Lala, lo que indicó que si hubo interacción.

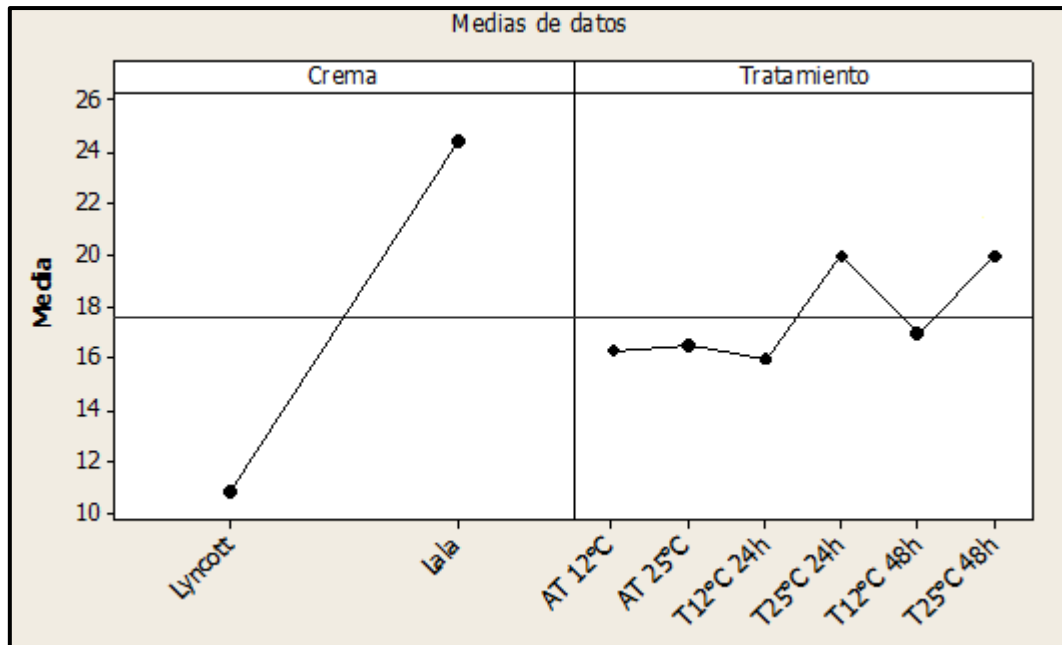


Figura 3.42. Efectos principales para el estiramiento.

Cuadro 3.19. Prueba de Tuckey para el estiramiento.

Estiramiento (mm)					
		Tratamiento			
Crema		AT 12 °C	16.28	A	
		AT 25 °C	16.51	A	
		T 12 °C (24h)	15.98	A	
		T 25 °C (24h)	20.00	A	
Lala	24.42	A	T 12 °C (48h)	17.00	A
Lyncott	10.81	B	T 25 °C (48h)	19.95	A

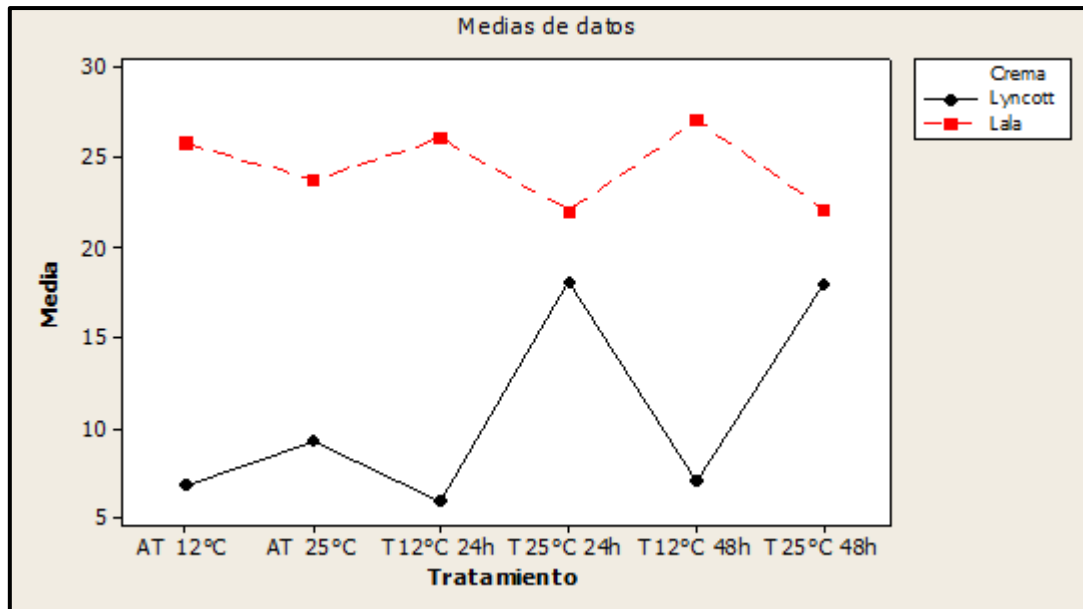


Figura 3.43. Interacción para el estiramiento.

CONCLUSIONES

A una temperatura de 40 °C la crema Lyncott ya no aumentó su consistencia después del temperado y almacenamiento debido a que a esta temperatura los glóbulos de grasa se fundieron completamente, lo que provocó la coalescencia total de los mismos. Para favorecer la coalescencia parcial, la temperatura a la cual se realiza el tratamiento térmico debe ser tal que produzca sólo una fusión parcial de los cristales de grasa.

Describiendo los resultados de acuerdo al objetivo particular 1, el temperado a 25 °C tuvo mayor efecto en los resultados de la media crema Lala con 20% de grasa y la crema para batir Lyncott, ambas con emulsificantes y estabilizantes que el temperado a 12 °C.

En la crema natural con 30% de grasa sin emulsificantes ni estabilizantes los resultados de los parámetros reológicos y de tamaño de partícula se atribuyeron a la coalescencia parcial a las 24 horas después del temperado y coalescencia total a las 48 horas después del temperado debido al tiempo de almacenamiento en refrigeración. Esto mismo ocurrió con la media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes.

En la crema para batir Luncott con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes, el fenómeno al cual se le atribuyó los resultados de reología, textura y tamaño de partícula, fué el de coalescencia parcial, ya que éstos siguieron en aumento después del temperado y almacenamiento en refrigeración.

En las cremas que contienen emulsificantes y estabilizantes, desconocemos en qué cantidad estén presentes pero sabemos que proporcionan características diferentes a cada una. La crema para batir Lyncott contiene goma guar la cual proporciona alta viscosidad y tiene buena resistencia a los ciclos de temperatura. Presenta sinergismo con otros polisacáridos contenidos en esta crema como carboximetilcelulosa, xantana y algarrobo, que tienen un comportamiento similar, proporcionando estabilidad a la crema y poca viscosidad, ya que es una crema para batir y las propiedades de los polisacáridos se desarrollan también en la formación de la espuma.

La media crema Lala contiene goma guar y carragenina que presentan sinergismo, proporcionando alta viscosidad. Son estables a los ciclos de temperatura y al enfriarse forman un gel dando apariencia más viscosa y consistente a este tipo de crema.

La consistencia y apariencia que tienen las cremas con emulsificantes y estabilizantes se debe principalmente a los polisacáridos contenidos. En general, los resultados obtenidos se debieron principalmente al temperado, debido a que los polisacáridos contenidos en las cremas son resistentes a los ciclos de congelación- descongelación, lo cual quiere decir que en un inicio debemos tomar en cuenta que están presentes, pero los resultados de coalescencia parcial no se atribuyeron a la presencia de ellos, sino a la fusión de gotas de grasa debido a la temperatura de temperado.

Describiendo los resultados de acuerdo al objetivo particular 2, a una temperatura de 12 °C en general no se notan grandes cambios después del temperado ya que la temperatura no es suficiente para fundir grasa que pueda recrystalizar permitiendo el aumento de la consistencia y viscosidad después del temperado.

La crema natural con 30% de grasa sin emulsificantes ni estabilizantes temperada a 12 °C mostró mayor tamaño de partícula que con el temperado a 25 °C, aunque a las 48 horas después del temperado el tamaño de partícula disminuyó en ambos temperados. Esta crema al no contener emulsificantes y estabilizantes tenía una consistencia líquida y ésta no aumentó después del temperado ya que siempre se mantuvo muy fluida, por lo que mostró resultados poco usuales observándose un aumento en el tamaño de partícula y parámetros reológicos después del temperado, por lo que los resultados obtenidos se atribuyeron a otros fenómenos de desestabilización como la coalescencia total o la floculación.

En la crema Lyncott para batir con 30% de grasa con emulsificantes y estabilizantes temperada a 12 °C, los resultados de reología, textura y tamaño de partícula aumentaron a las 24 horas después del temperado debido a la coalescencia parcial, pero a las 48 horas ya no se observó un aumento por la baja temperatura a la cual se sometieron y que no permitió una mayor fusión de las gotas de grasa comparada con el temperado a 25 °C. Esta crema

temperada a 25 °C fue la que presentó resultados de textura y tamaño de partícula que fueron en aumento después del temperado con 24 y 48 horas de almacenamiento a temperatura de refrigeración, mientras que la media crema Lala mostró los resultados esperados en los módulos elástico y viscoso (G' y G'') en el seguimiento del temperado en el reómetro.

La media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes al as 24 horas mostró un aumento de los parámetros reológicos, texturales y tamaño de partícula después del temperado, pero a las 48 horas, este aumento ya no fue tan marcado, probablemente por la baja temperatura de temperado y la baja cantidad de contenido de grasa que no permitió que éstas coalescieran a las 48 horas después del temperado y porque los polisacáridos presentes dificultan el desplazamiento de las gotas de grasa para aproximarse ya que están en un medio más viscoso. La media crema Lala con 20% de grasa con emulsificantes y estabilizantes, mostró mayor efecto en parámetros reológicos: G' y G'' , texturales: dureza, fuerza adhesiva, adhesividad y estiramiento y tamaño de partícula.

En general, el temperado en mayor proporción y el contenido de grasa, si provocaron un aumento en los parámetros reológicos, texturales y tamaño de partícula en las cremas después de 24 horas en almacenamiento y a las 48 horas, éste ya no es tan marcado y en algunos casos disminuyó. En el análisis estadístico, en los parámetros reológicos, texturales y tamaño de partícula hubo interacción, lo cual indicó que el efecto del temperado fue diferente para cada crema ya que depende del contenido o no de emulsificantes y estabilizantes y del contenido y tipo de grasa.

BIBLIOGRAFÍA

- Adán, D. A. (2008). Manual de reología para el laboratorio experimental multidisciplinario 1. Ingeniería en Alimentos. FES - Cuautitlán. UNAM. México.
- Aranberri, B. B. (2006). Emulsiones estabilizadas. Elaboración y caracterización de emulsiones. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 21, 211-231.
- Badui, S. D. (2006). Química de alimentos. Pearson. México.
- Barnes, H.A., Hutton, J.F. y Walters, K. (1989). An Introduction to Rheology. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Benjamins, Jan., Monique, H. Vingerhoeds., Franklin, D. Zoet., Els, H.A. de Hoog., George, A. van Aken. (2009). Coalescencia parcial como una herramienta para controlar la percepción sensorial de emulsiones. *Food Hydrocolloids*. 23, 102-115.
- Beristain, F. (2001). Guía rápida del granulómetro de rayo laser Cilas 930 LD. Cuautitlán Izcalli, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Boode, K., Bisperink, C., Walstra, P. (1991). Destabilization of o/w emulsions containing fat crystals by temperature cycling. *Colloids and Surfaces*, 61, 55-74.
- Boode, K., Walstra, P. (1993). Partial coalescence in oil-in-water emulsions 1. Nature of aggregation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 81, 121-137.
- Boode, K., Walstra, P.; and de Groot-Mostert, A.E.A. (1993). Partial coalescence in oil-in-water emulsions 2. Influence of the properties of the fat. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 81, 139-151.
- Casas, A. N., Martínez, P. L., Tecante, C. A., Ramírez, O. M., Delgado, R. V. (2001). Seminario de titulación para la carrera de Ingeniería en Alimentos. Reología y Textura de materiales biológicos. FES - Cuautitlán. UNAM. México.
- Cheftel, J-C., Cuq, J-L., Lorient, D. (1989). Proteínas alimentarias, Bioquímica, Propiedades funcionales: Valor nutritivo, Modificaciones químicas. Acribia. España.
- Charley, H. (1999). Tecnología de alimentos. Limusa. México.
- Cubero, N., Monferrer, A., Villalta, J. (2002). Tecnología de alimentos. Aditivos alimentarios. Mundiprensa. España.

- Davies, E., Dickinson, E., y Bee, R. (2000). Shear stability of sodium caseinate emulsions containing monoglyceride and triglyceride crystals. *Food Hydrocolloids*, 14(2), 145-153.
- Drelon, N., Gravier, E., Daheron, L., Boisserie, L., Omari, A., Leal-Calderón, F. (2005). Influence of tempering on the mechanical properties of whipped dairy creams. *International Dairy Journal*.16, 1454-1463.
- Fennema, O. R. (1993). Química de los alimentos. Acribia. España.
- García-Rejón, A. 1981. Introducción a la reología de los polímeros. *Plastinoticias*, Septiembre, 37-54.
- Gravier, E., Drelon, N., Boisserie, L., Omari, A., Leal-Calderon, F. (2005). Consolidation of foams deriving from emulsions by temperature cycling (“tempering”). *Colloids and surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 282-283, 360-368.
- Hill, SE. 1998. Emulsions and Foams en Hill, SE Ledward, DA, Mitchell, J.R. (Eds.) *Functional Properties of Food Macromolecules*, 302-334, Aspen Publishers Gaithersburg.
- Katime, I., Quintana, J. R., Villacampa, M. (2003). Emulsiones estabilizadas. *Revista Iberoamericana de polímeros*. 4, 123.
- Kiokas, S., y Bot, A. (2005). Effect of denaturation on temperature cycling stability of heated acidified protein-stabilised o/w emulsion gels. *Food Hydrocolloids*, 19(3), 493–501.
- Lapasin, R y Pricl, S. (1995). *Rheology of Industrial Polysaccharides: Theory and Applications*. Blackie Academic and Professional, Cornwall, Great Britain.
- Leal-Calderon, F. T., Thivilliers, F., Schmitt, V. (2007). Structured emulsions. *Current Opinion in Colloid and Interface Science. Elsevier*, 12, 206-211.
- Lewis, M. J. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y sistemas de procesado*. Acribia. España.
- Márquez, A. L., Palazolo, G. G., Wagner, J. R. (2005a). Emulsiones tipo crema preparadas a base de leche de soya 1: Estudios de estabilidad y determinación de las formulaciones. *Grasas y Aceites*, 56, 59-66.

- Márquez, A. L., Palazolo, G. G., Wagner, J. R. (2005b). Emulsiones tipo crema preparadas a base de leche de soya 2: Efecto de la agitación controlada sobre la reología de las cremas. *Grasas y Aceites*, 56, 89-95.
- Márquez, A. L., Palazolo, G. G., Wagner, J. R. (2005c). Emulsiones tipo crema preparadas a base de leche de soya 3: Efecto de los ciclos de temperatura. *Grasas y Aceites*, 56, 182-187.
- McMurry, J. (2006). Química Orgánica. 6° ed. Thomson. México.
- Mezger, T. 1991. A Little Course in Reology. Part 2 Oscillation. Physica. Germany.
- Mitchell, J. R. 1980. The Reology of Gels. *Journal Texture Studies*. 11, 37-315.
- Moreno, R. (2006). Curso de reología aplicada. Viscoelasticidad. Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza. España.
- Morrison, I.D. y Ross, S. (2002). Colloidal Dispersions: suspensions, Emulsions and Foams. Edit Wiley-Interscience, New York, USA.
- Mutho, T. A., Nakagawa, S., Noda, M., Shiinoki, Y. y Matsamura, Y. (2001). Relationship between characteristics of oil droplets and solidification of thermally treated creams. *Journal of American Oil of Chemist's Society*, 78, 177-183.
- Muñoz, J., Alfaro, M., Zapata, I., (2007). Avances en la formulación de emulsiones. *Grasas y Aceites*, 58 (1), 64-73.
- Pascali, R. C. (2009). Seminario sobre emulsiones. Cátedra de Farmacotécnia 1. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Argentina.
- Pasquel, A. (2001). Gomas: una aproximación a la industria de alimentos. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*. 1, 1-8.
- Rao, M.A. y Steffe, J.F., (1992). Viscoelastic Properties of Food, Elsevier Applied Science, England, Londres, pp. 731-434.
- Rico, E. J., Zoot; Moreno, B., Quim., MSc, Pabón, M. E., Quim., PhD; Carulla, J., Zoot; PhD. (2007). Composición de la grasa láctea en la sabana de Bogotá con énfasis en ácido ruménico - CLA *cis*-9, *trans*-11. *Revista Colombiana de ciencias pecuarias*. 20, 30-39.
- Rosenthal, A. J. (2001). Textura de los alimentos. Medida y percepción. Acribia. España.
- Rosseau, D. (2000). Fat crystals and emulsion stability—a review. *Food Research International*. 33, 3-14.

- Roudot, A-C. (2004). Reología y análisis de textura de los alimentos. Acribia. España.
- Sato K. (2001). Crystallization behavior of fats and lipids – a review. *Chemical Engineering Science*, 56, 2255-2265.
- Sato, K., Ueno, S. (2011). Crystallization, transformation and microstructures of polymorphic fats in colloidal dispersion states. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 16, 384-390.
- Tecante, A. (2005). Viscoelasticity. En Food Engineering (G. V. Barbosa-Cánovas ed). UNESCO Publishing, pp. 285-303. Paris, France.
- Van Boekel, M. A. J. S. (1980). Influence of fat crystals in the oil phase on stability of oil-in-water emulsions. Ph.D. thesis. The Netherlands: Wageningen Agricultural University.
- Van Vliet, T. (2001). Clasificación reológica de los alimentos y técnicas instrumentales para su estudio. En textura de los alimentos. Medida y percepción. (Rosenthal, A.J.), Ed. Acribia, España.
- Vanapalli, S. A. y Coupland, J. N. (2001). Emulsions under shear. The formation and properties of partially coalesced lipid structures. *Food Hydrocolloids*, 15, 507-512.
- Vega, M. C., (2006). Diseño de microestructura en crema batida. Mundo lácteo y cárnico. Tecnología. 12-18.
- Voet, D., Voet, J. G. (2006). Bioquímica. Panamericana. Buenos Aires.
- Wong, D. (1995). Química de los alimentos. Mecanismos y teoría. Acribia. España.

Normas consultadas

NOM-243-SSA1-2010, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.

Páginas de internet consultadas

Secretaría de Salud. Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios (apartado III.7.1 y III. 1.5) <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/rcsps.html>

LALA ®. Disponible en http://www.lala.com.mx/TeaserLALA/productos/lal_crema.html

Lyncott ®. Disponible en <http://www.lyncott.com.mx/cremas.htm>

WINKLER LTDA. Disponible en http://www.winklerltda.com/riesgos_detalle.htm#yoo-carousel-tab

Ingeniería y Desarrollo Alimentario, S.A. de C.V. <http://www.ideal-sa.com>

Seminario sobre emulsiones. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/57304225/emulsionesseminario>

APÉNDICE 1. Tablas de coeficientes de variación

Cuadro 1. Coeficiente de variación del tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40°C con varios días de almacenamiento.

Lyncott	Temperado a 40°C	10%	50%	90%	Promedio (µm)
% CV	Antes	1.800	10.300	2.641	5.83
	24 horas después	4.97	6.64	0.56	6.59
	48 horas después	5.24	3.02	4.01	3.54
	96 horas después	14.14	2.54	4.03	2.56
	144 horas después	2.68	4.14	3.64	4.87

Cuadro 2. Coeficiente de variación de los parámetros texturales de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 40°C.

Lyncott	Temperado a 40°C	Dureza (N)	Fuerza Adhesiva (N)	Adhesividad (N*s)	Estiramiento (mm)
% CV	Antes	24.77	-5.84	-88.42	9.55
	24 horas después	8.51	-9.48	-19.80	23.96
	48 horas después	14.74	-8.75	-13.40	10.94

Cuadro 3. Coeficiente de variación del tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25°C.

Lyncott	Temperado a 25°C	10%	50%	90%	Promedio (µm)
% CV	Antes	0.53	3.22	3.99	7.5
	24 horas después	1.17	1.51	0.67	0.75
	48 horas después	2.3	0.6	3.88	4.0

Cuadro 4. Coeficiente de variación de los parámetros texturales de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 25°C.

Lyncott	Temperado a 25°C	Dureza (N)	Fuerza Adhesiva (N)	Adhesividad (N*s)	Estiramiento (mm)
% CV	Antes	23.04	21.63	-10.52	16.11
	24 horas después	6.54	10.22	-13.50	8.98
	48 horas después	2.57	4.16	-12.59	6.34

Cuadro 5. Coeficiente de variación del tamaño de partícula de la media crema Lala antes y después del temperado a 25°C.

Lala	Temperado a 25°C	10%	50%	90%	Promedio (µm)
% CV	Antes	2.45	30.65	4.16	4.40
	24 horas después	5.20	2.08	0.80	2.14
	48 horas después	7.76	14.94	1.43	5.78

Cuadro 6. Coeficiente de variación de los parámetros texturales de la media crema Lala antes y después del temperado a 25°C.

Lala	Temperado a 25°C	Dureza (N)	Fuerza Adhesiva (N)	Adhesividad (N*s)	Estiramiento (mm)
% CV	Antes	6.55	-5.63	-3.72	4.27
	24 horas después	6.98	-3.73	-19.35	3.31
	48 horas después	5.37	-2.96	-6.76	3.61

Cuadro 7. Coeficiente de variación del tamaño de partícula de la crema natural antes y después del temperado a 25°C.

Natural	Temperado a 25°C	10%	50%	90%	Promedio (µm)
% CV	Antes	3.70	113.60	2.63	7.67
	24 horas después	6.57	10.81	1.71	5.04
	48 horas después	3.57	16.25	3.76	7.00

Cuadro 8. Coeficiente de variación del tamaño de partícula de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 12°C.

Lyncott	Temperado a 12°C	10%	50%	90%	Promedio (µm)
% CV	Antes	1.40	14.32	3.10	8.56
	24 horas después	6.59	6.93	4.43	9.02
	48 horas después	3.23	26.83	1.28	4.06

Cuadro 9. Coeficiente de variación de los parámetros texturales de la crema para batir Lyncott antes y después del temperado a 12°C.

Lyncott	Temperado a 12°C	Dureza (N)	Fuerza Adhesiva (N)	Adhesividad (N*s)	Estiramiento (mm)
% CV	Antes	16.86	-12.48	-17.34	8.57
	24 horas después	16.86	-12.48	-17.34	8.57
	48 horas después	11.91	-11.52	-10.35	13.71

Cuadro 10. Coeficiente de variación del tamaño de partícula de la media crema Lala antes y después del temperado a 12°C.

Lala	Temperado a 12°C	10%	50%	90%	Promedio (µm)
% CV	Antes	1.69	18.27	2.87	2.42
	24 horas después	4.37	3.06	2.69	3.49
	48 horas después	2.68	12.86	2.44	3.71

Cuadro 11. Coeficiente de variación de los parámetros texturales de la media crema Lala antes y después del temperado a 12°C.

Lala	Temperado a 12°C	Dureza (N)	Fuerza Adhesiva (N)	Adhesividad (N*s)	Estiramiento (mm)
% CV	Antes	6.08	-4.10	-8.45	7.00
	24 horas después	9.28	-4.33	-4.64	13.22
	48 horas después	2.45	-3.09	-5.11	16.34

Cuadro 12. Coeficiente de variación del tamaño de partícula de la crema natural antes y después del temperado a 12°C.

Natural	Temperado a 12°C	10%	50%	90%	Promedio (µm)
% CV	Antes	5.59	8.76	12.89	23.79
	24 horas después	8.02	27.51	4.52	10.65
	48 horas después	4.14	17.66	7.60	16.77