



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO**



*INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS*

*“ELABORACIÓN DE UN SUSTITUTO DE CREMA
PASTELERA TIPO VIENA”*

TESIS

*QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN:
QUÍMICA EN ALIMENTOS*

PRESENTAN:

*SANTANDER RANGEL VICTOR ISRAEL
SOLIS RUBIO DALIA*

ASESOR:

Dr. CARLOS ALBERTO GÓMEZ ALDAPA

Pachuca, Hgo. Octubre 2006



*ESTE TRABAJO FUE REALIZADO EN LAS INTALACIONES DEL
LABOROTORIO DE ALIMENTOS 1 EN EL CENTRO DE INVESTIGACIONES
QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO*





PORTE DE LOS RESULTADOS DE ESTE TRABAJO FUERON PRESENTADOS EN EL VII CONGRESO DE LA CIENCIA DE LOS ALIMENTOS REALIZADO EN GUANAJUATO, GUANAJUATO EN LAS INSTALACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO EN JUNIO DE 2005 OBTENIENDO EL SEGUNDO LUGAR EN MODALIDAD DE PRESENTACION DE CARTEL





*PORTE DE LOS RESULTADOS DE ESTE TRABAJO FUERON PRESENTADOS
EN EL PRIMER FORO DE QUÍMICA EN ALIMENTOS 2005 REALIZADO EN
PACHUCA HIDALGO EN LAS INSTALACIONES DE CEVIDE DE LA
UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO EN LA
MODALIDAD DE EXPOSICION ORAL*



DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y la fortaleza de concluir una etapa más y permitirme culminar con éxito mi carrera profesional

A mis padres, Israel y Margarita, por todo el apoyo incondicional tanto económico como moral que me han brindado a lo largo de mi vida y lo más importante el amor con el cual me guiaron hasta ver que una de mis ilusiones se hiciera realidad

A mis hermanos Israel y Maggi por todo el amor y el apoyo que me brindaron y por darme animo cuando parecía que todo estaba mal y a mi sobrino David por hacerme reír con sus travesuras

Y finalmente a mi amigo y novio Víctor Israel por todos esos momentos que compartimos, por todo lo aprendido a su lado y por que en los momentos más difíciles siempre me brindo su amor y su apoyo.

Los amo

DALIA SOLIS RUBIO

DEDICATORIA

A DIOS:

Por haberme permitido llegar a este mundo, por permitir vivir en él y por darme esa fuerza, seguridad y confianza en mi.

A MIS PADRES:

Por haberme dado la confianza y su apoyo incondicional y económico, Gracias por su tiempo, su amor, he logrado saber de sus desvelos y los he visto pensado en mi futuro. Gracias por enseñarme a dar de intensa forma y nada esperar, por los consejos y las caídas por enseñarme como es la vida....

Ahora se, cuanto me quieren.

A MIS HERMANOS:

Que con sus palabras me daban ánimos y fuerzas para seguir adelante.

A MI PEQUEÑA DALI:

Que con su apoyo, y como mi mano derecha, que siempre estuvo a mi lado en todo momento, y conviviendo nuevas experiencias, a tí muchas GRACIAS AMOR

A MI GRAN AMIGO:

Que con sus consejos y enseñanzas reforzaron mis conocimientos, a ti CARLOS GOMEZ ALDAPA

GRACIAS POR TODO

VICTOR ISRAEL SANTANDER RANGEL

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por permitirnos lograr nuestros objetivos

A NUESTROS PADRES:

- *Queremos agradecerles lo que ahora somos....*
- *Gracias por darnos la vida..... por su amor, por las caricias, por el dolor, por las sonrisas, por el sufrimiento, por los regaños y por el aliento.....*
- *Gracias por enseñarnos a crecer....*
- *Gracias por el ejemplo de la honradez, del entusiasmo y la calidez,...*
- *Gracias por enseñarme a dar de intensa forma y nada esperar, por los consejos y las caídas por enseñarme como es la vida....*
- *Gracias por estar a mi lado en el momento justo y el más anhelado*

A MARI

- *Por todo el apoyo que nos brindaste, por la ayuda para la realización de este trabajo, por su amistad que muchas veces nos hizo fuertes. Mil gracias por el cariño que nos demuestras, te queremos mucho.*

A IVON Y CLAUDIA

- *Por los momentos agradables compartidos en el laboratorio, por sus consejos que nos hicieron crecer, por el relajo y por hacernos reír en los momentos difíciles y por su valiosa e incondicional amistad. Muchas gracias.*

A LAS COMADRES

- *Por el apoyo en el laboratorio para la realización de éste proyecto*

AL DOC JAVIER

- *Por todos los consejos dentro y fuera del salón de clases, por su valiosa amistad, por los momentos de convivencia*

A DOC CARLOS

- *Por dirigir este trabajo, por el tiempo invertido, por todos los buenos y malos momentos, por compartirnos sus conocimientos y experiencias y sobre todo por la amistad que nos brinda.*

A NUESTROS SINODALES

- *Por todos sus comentarios que nos hacen mejorar cada día y por el tiempo dedicado para enriquecer éste proyecto.*

AL DOCTOR LUIS MEDINA

- *Por su colaboración en los análisis reológicos.*

A LA INDUSTRIA HEINZE

- *Por confiar en nosotros y permitirnos participar en éste proyecto y por todo el apoyo brindado*

AL LABORATORIO DE ALIMENTOS 1

- *Que forma parte de la UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO por permitirnos realizar la parte experimental de éste proyecto en sus instalaciones.*

Índice General

	<i>Página</i>
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	3
3. ANTECEDENTES	5
3.1 Crema pastelera	5
3.2 Factores que afectan la estabilidad de la crema pastelera	7
3.2.1 Sistemas dispersos	7
3.2.2 Surfactantes	10
3.2.2.1 Función de los surfactantes	15
3.2.3 Emulsiones	16
3.2.3.1 Formación de la emulsión	18
3.2.3.2 Tipos de inestabilidad	24
3.3 Propiedades de los ingredientes empleados para la elaboración del sustituto de crema pastelera	29
3.3.1 Jarabe de maíz	29
3.3.2 Almidones modificados	30
3.3.2.1 Almidones entrecruzados	31
3.3.2.2 Dextrinas	32
3.3.2.3 Almidones pregelatinizados	32
3.3.2.4 Almidón brevemente hidrolizado	32
3.3.2.5 Éteres de almidón	33
3.3.2.6 Esteres de almidón	33
3.3.2.7 Almidones oxidados	33
3.3.3 Sacarosa	34
3.3.4 Alginato	39



3.3.5 Grasas	41
3.4 Reología	42
3.4.1 Flujo viscoso ideal	43
3.4.2 Comportamiento reológico no ideal	45
3.5 Análisis sensorial	48
3.6 Planteamiento del problema	50
4. OBJETIVOS	51
4.1 Objetivo general	51
4.2 Objetivos particulares	51
5. MATERIALES Y MÉTODOS	52
5.1. Materia prima	52
5.2. Equipos y material de laboratorio	52
5.3 Diseño y análisis de experimentos	52
5.3.1 Primera etapa: <u>Efecto de los ingredientes de la emulsión sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera</u>	52
5.3.2 Segunda etapa: <u>Efecto de la relación de azúcares simples y complejos sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera</u>	54
5.3.3 Tercera etapa: <u>Efecto de la relación grasa/almidón sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera</u>	57
5.3.4 Cuarta etapa: <u>Efecto de la relación almidón grasa y humectante en el sustituto de crema pastelera</u>	59
5.4. Métodos	61
5.4.1 Elaboración del sustituto de crema pastelera	61
5.4.1.1 Elaboración de la emulsión	62
5.4.1.2 Elaboración del sustituto de crema pastelera	62
5.4.2 Prueba de estabilidad de la emulsión y del sustituto de crema pastelera	63
5.4.3 Prueba visual microbiológica	63
5.4.4 Reología de cizalla simple	64
5.4.5 Reología de cizalla oscilatorio	64
5.4.6 Análisis sensorial	64
5.4.7 Vida de anaquel	65

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES.	66
6.1 Primera etapa: <u>Efecto de los ingredientes de la emulsión sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera</u>	66
6.2 Segunda etapa: <u>Efecto de la relación de azúcares simples y complejos sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera</u>	70
6.3 Tercera etapa: <u>Efecto de la relación grasa/almidón sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera</u>	77
6.4 Cuarta etapa: <u>Efecto de la relación almidón grasa y humectante en el sustituto de crema pastelera</u>	78
6.5 Resultado de las pruebas afectivas de aceptación y la vida de anaquel acelerada (40°C) mediante la separación de fases de la fórmula del sustituto de crema pastelera seleccionada finalmente	79
7. CONCLUSIONES	80
8 BIBLIOGRAFÍA.	82
ANEXOS	

Índice de Figuras

Página

Figura 1 Mecanismo de adsorción de diversos surfactantes en la interfase aceite-agua: 1, Jabón; 2, Tween; 3, Un polímero de tamaño razonable; 4, Proteína globular. A la izquierda, escala en nanómetros (Fennema, 2000)	14
Figura 2: Procesos importantes durante la formación de la emulsión. Los límites de la gota se indican con líneas delgadas y el emulgente con trazos gruesos y punto	20
Figura 3: Representación del efecto Gibbs-Marangoni actuando sobre 2 gotitas de una emulsión que se aproximan durante su fabricación. Las moléculas del emulgente vienen indicados por el signo Y	21
Figura 4. Orientación de las moléculas tensoactivas, a) hidrofugación en líquido apolar; b) hidrofiliación en un líquido polar (Horst-Dieter, 2001)	23
Figura 5: Mecanismos de inestabilización de las emulsiones de grasa en agua. El área de contacto señalada en (d) puede ser muy exagerada; las líneas gruesas de (e) representan cristales de triglicéridos	26
Figura 6: Estructuras de un monoéster fosfato de almidón (izquierda) y de un diéster fosfato (derecha). El diéster une dos moléculas de almidón lo que da lugar a la formación de almidones entrecruzados.	35
Figura 7: Estructura de la sacarosa	36
Figura 8. Estructura de una cadena de alginato, (Imeson, 1992)	40
Figura 9 Estructura general de las grasas	41
Figura 10 Perfil de velocidad entre platos paralelos (Steffe, 1996)	44
Figura 11: Comportamiento reológico de diversos materiales (esfuerzo de cizalla en función de la velocidad de cizalla)	47

Figura 12: Emulsión estable	67
Figura 13: Emulsión inestable	67
Figura 14: Curva de cizalla simple de la muestra comercial de importación y de la muestra preparada en función de la velocidad de cizalla	71
Figura 15: Módulos dinámicos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') y viscosidad dinámica (η) de la muestra comercial de importación	72
Figura 16: Módulos dinámicos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') y viscosidad dinámica (η) de la muestra 6	73

Índice de Tablas

Página

Tabla 1: Tipos de dispersión	9
Tabla 2: Tipos de surfactantes	11
Tabla 3: Ejemplos de Tweens	12
Tabla 4: Concentración de los factores a variar primera etapa	53
Tabla 5: Diseño factorial primera etapa	53
Tabla 6: Tabla experimental primera etapa	54
Tabla 7: Relación almidón dulzor	55
Tabla 8: Concentración de dulzor en gramos	55
Tabla 9: Concentración de azúcares simples en gramos	56
Tabla 10: Diseño experimental segunda etapa	56
Tabla 11: Factores a variar tercera etapa	57
Tabla 12: Diseño factorial tercera etapa	58
Tabla 13: Tratamientos tercera etapa	58
Tabla 14: Factores a variar cuarta etapa	60
Tabla 15: Diseño factorial cuarta etapa	60
Tabla 16: Tabla experimental cuarta etapa	60
Tabla 17: Factores a variar cuarta etapa	61



Tabla 18: Estabilidad de emulsiones	66
Tabla 19: Estabilidad de los sustitutos de crema pastelera	68
Tabla 20: Descripción de resultados	75

1. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue elaborar un sustituto de crema pastelera, que no presentara separación de fases y que tuviera una vida de anaquel mayor o similar que la que presenta una crema pastelera comercial. Para cumplir con este objetivo se realizaron 4 etapas. En la primera se realizó un diseño factorial 3^3 variando los ingredientes principales de la emulsión (agua, grasa y emulsificante) para evaluar la estabilidad del sustituto de crema pastelera obteniendo como resultado que la muestra que tenía el nivel más alto de emulsificante probado fue la que presentó una menor separación de fases. Por tal motivo se realizó una segunda etapa tomando como base las proporciones de los ingredientes de la emulsión de la muestra 6, se realizó un diseño factorial 3^4 variando las cantidades de azúcares complejos y simples para estudiar el efecto de estos en la estabilidad del sustituto de crema pastelera, en este diseño las muestras que presentaron la menor separación de fases fueron las que se elaboraron con el nivel bajo de azúcares complejos y el nivel más alto de azúcares simples, sin embargo estas muestras aun seguían presentando separación de fases, motivo por el cual se llevo a cabo una tercera etapa. En esta etapa se utilizó un diseño factorial 2^3 , los factores involucrados fueron la cantidad de grasas y de almidón presentes en la formulación, los sustitutos de crema obtenidos en este experimento no presentaron separación de fases, sin embargo éstos tenían una textura rígida y reseca, debido a los niveles de almidón empleados en este diseño en combinación con la alta pérdida de agua durante el procesamiento, estos resultados nos llevaron a estudiar el efecto de un humectante, así como probar cantidades menores de grasa. En esta última etapa se utilizaron dos diseños experimentales, el primero fue un diseño con tres factores desbalanceado, donde dos factores se variaron en dos niveles y el tercer factor con 5 niveles, los resultados obtenidos de este experimento mostraron que todos los sustitutos de crema elaborados no presentaron separación de fases, pero la textura no era la deseada, ya que la consistencia presentada por los sustitutos de crema fue más fluida de lo que se

esperaba, motivo por el cual se planteó el segundo diseño experimental en el cual se disminuyó la concentración de humectante empleado.

Finalmente se obtuvo una formulación que no presentó separación de fases y que a su vez presentaba una textura y apariencia aceptable. En la formulación final se eliminaron algunos de los compuestos contemplados originalmente ya que estos propiciaban una separación de la fase acuosa del sustituto obtenido. La muestra preparada con la formulación seleccionada se le evaluó la aceptación por parte del posible público consumidor y la vida de anaquel acelerada a 40 °C. Los resultados obtenidos mostraron que el sustituto de crema pastelera y la crema comercial de importación fueron igualmente aceptados por los jueces no entrenados y fue estable tres meses a las condiciones probadas.

2. INTRODUCCIÓN

En la industria panadera se utilizan diferentes tipos de cremas pasteleras para relleno de panes, dentro de las cuales destaca la crema pastelera tradicional que contiene leche, azúcar, harina, yemas de huevo, margarina y vainilla. La cual es un producto de consistencia suave, manejable, con sabor a leche avainillada y de color amarillo claro brillante, conocida como tipo Viena (Anónimo, 2005). Su elaboración representa una inversión de tiempo considerable, además de que sus ingredientes son muy inestables, por lo que su vida de anaquel es corta (3 días). Esto se debe por una parte a que los microorganismos que se encuentran en el ambiente, en el equipo y en las materias primas pueden desarrollarse con facilidad en este medio, ya que los ingredientes usados son una rica fuente de nutrientes. Por otra parte, si no se lleva a cabo una buena homogenización puede haber una separación de fases, es decir, que la margarina se separe del resto de los ingredientes lo cual da un aspecto desagradable y por consiguiente se reduce la vida de anaquel.

En el mercado existe otra presentación de crema pastelera que es en polvo, en la cual los ingredientes son los mismos que en la crema pastelera tradicional pero están deshidratados, esta mezcla se hidrata con leche y se le adiciona la margarina lo que significa tiempo y un costo adicional en la preparación, además de que una vez preparada su vida de anaquel es de aproximadamente una semana.

También se encuentra en el mercado una fórmula, que es de importación y consta de ingredientes tales como: almidón, margarina y agua principalmente. Sin embargo, el costo de ésta crema es mayor que el de las otras antes mencionadas.

Por todo esto, en este proyecto se pretende obtener una crema de relleno para pastelería que cumpla con los requisitos solicitados por el fabricante, es decir, que sea económica, que pueda producirse con materias primas de fácil obtención y que tenga una vida de anaquel mayor que la crema preparada por métodos y materias primas tradicionales, además que tenga la consistencia de una crema pastelera de importación. De tal manera que el objetivo principal de este trabajo fue elaborar un sustituto de crema pastelera, que no presente separación de fases y que tenga una vida de anaquel similar o mayor que la que presenta la crema pastelera comercial de importación.

3. ANTECEDENTES

3.1. Crema pastelera

Para conocer el valor de una crema es imprescindible saber como se elabora con medios propios, de esta manera podemos apreciar con conocimiento de causa los productos. Los ingredientes que se emplean comúnmente para elaborar este producto son (Anónimo, 2006a):

Ingredientes:

4 piezas de huevos

125g de harina

200g de azúcar

1L de leche

aromas (canela, vainilla, corteza de limón, o naranja).

El procedimiento para la elaboración de la crema pastelera se menciona a continuación (Anónimo, 2006a):

En primer lugar "perfumar la leche" esto es hervir la leche con el aroma, o los aromas escogidos. En un recipiente aparte poner los huevos partidos junto con el azúcar y la harina. Mezclar los ingredientes. A continuación colar la leche para eliminar residuos de los aromas incorporados y verter sobre la mezcla realizada al tiempo que se agita o bate enérgicamente. Poner al fuego éste preparado, sin dejar de mover o batir hasta que dé un hervor. No debe hervir más que una sola vez puesto que se podrían desnaturalizar las proteínas del huevo y formar pequeños grumos. También otra precaución es no dejar de mover para evitar que

la harina se adhiera en el fondo del recipiente. Otra receta similar es cambiar parte o el total de la harina señalada, por su equivalente en fécula de maíz, con ello la textura cambiará notablemente, obteniendo productos más suaves y cremosos. Se puede elaborar con yemas solamente o combinando yemas y clara de huevo. También puede mejorarse poniendo más cantidad de yemas y reduciendo las claras. También podemos espesarla más o menos de acuerdo a su aplicación y para esto se usa harina, fécula de papa o con almidón de maíz, o combinando harina y fécula o harina y almidón, todo depende de su uso. El poder aglutinante de la fécula suele ser aproximadamente el doble que el de la harina. Es importante conocer esta relación para los casos donde sea opcional utilizar indistintamente un producto u otro.

Existen diversas fórmulas de cremas pasteleras e incluso la industria fabricante surte al mercado una extensa gama de preelaborados donde sólo es necesario poner el agua y las medidas correspondientes de éstos preparados para conseguir de una manera rápida y fácil una excelente crema, tanto en frío como en caliente (Anónimo, 2006a).

Conviene cocinar sobre calor suave, revolviendo continuamente, hasta que adquiera esa consistencia y viscosidad tan particular, y de características inconfundibles, que es cuando se produce la transformación del almidón contenido en la harina.

Hay varias maneras de elaborar la crema pastelera tradicional, al igual que transformar su sabor. Se logra transformar su sabor, incorporándole ingredientes que le hacen adquirir sabores diferentes, uno de ellos puede ser cocoa o cacao, transformándola en crema pastelera al chocolate, incorporándole vino Garnacha para que adquiera un estilo sambayón, café instantáneo quedando con sabor

moka o agregándole coco, jugo de limón o de naranja, o fruta en trozos. En fin, infinitas combinaciones que la transforman siempre en una delicia para chicos y grandes. Normalmente en la industria panadera se utiliza la crema pastelera sabor vainilla para el relleno ya que la saborizada se utiliza como postre (Anónimo, 2006b).

Existe también un producto de importación el cual ya está preparado, listo para usar sin necesidad de adicionar ningún ingrediente más. Al ser un producto de importación se vuelve poco probable encontrarlo disponible al momento de necesitarlo, aunado con su alto precio. Es de color amarillento, sus principales ingredientes son: almidón modificado, grasa butírica, jarabe de alta fructosa, antioxidantes y conservadores permitidos.

3.2. Factores que afectan a la estabilidad de la crema pastelera

Para determinar la estabilidad de este tipo de productos es necesario dar una breve descripción de los factores que influyen las propiedades funcionales de dichos productos y como se definen estos.

3.2.1 Sistemas dispersos

Una dispersión es un sistema constituido por partículas discretas situadas en el seno de una fase continua. El término fase necesita algunas precisiones. Una fase se define ordinariamente como un dominio confinado por una superficie cerrada en la que cambian abruptamente al menos algunas de sus propiedades, por ejemplo: la presión, la densidad, el índice de refracción, el calor específico y la composición química (Larson y Dejmeck., 1990).

La mayor parte de los alimentos son sistemas dispersos. Las propiedades de estos sistemas no dependen sólo de su composición química sino también de su estructura física. Ésta es a veces muy compleja como los alimentos procedentes de los tejidos animales o vegetales y algunos alimentos fabricados como la margarina, masa para panadería, etc., y otras veces es más simple como algunos alimentos fabricados por ejemplo la espuma de la cerveza y algunos naturales como la leche, estas características hacen que los alimentos puedan ser vistos como sistemas meta-estables, es decir estos están fuera de equilibrio termodinámico y en los cuales la velocidad inicial de cambio es pequeña, pero una vez iniciado el cambio, prosigue a gran velocidad (Torral, 1973).

En la Tabla 1 se muestran varios tipos de dispersiones. Además de las dispersiones señaladas en la tabla, existen espumas sólidas, emulsiones sólidas o suspensiones sólidas; una vez formado el sistema líquido se solidifica de algún modo. En la margarina la fase oleosa continua, contiene una red también continua de agregados de cristales.

La existencia de un estado disperso tiene consecuencias importantes (Fennema, 2000):

1. Como los diversos componentes se hallan en distintos compartimentos, no hay en ellos un equilibrio termodinámico, es decir, el sistema se encuentra en estado meta-estable, lo cual puede tener consecuencias significativas para las reacciones químicas.
2. Los componentes del sabor pueden hallarse en compartimentos separados, lo que puede retardar su liberación durante el calentamiento.

Tabla 1. Tipos de dispersión

Fase dispersa	Fase continua	Tipo de dispersión	Ejemplo
Sólido	Líquido	Sol	Leche descremada
Gas	Líquido	Espuma	Cremas batidas
Gas	sólido	Espuma sólida	Pan
Líquido	Gas	Niebla, aerosol	Humo para productos cárnicos
Líquido	Líquido	Emulsión	Mayonesa
Sólido	Gas	Humo, polvo	Polvos para productos cárnicos

Tomado de: Badui Dergal, 1993

3. Si se somete a fuerzas de atracción, el sistema tiene cierta consistencia, que se define como la resistencia a la deformación permanente. Ésta propiedad está relacionada con atributos tales como la firmeza, la extensión o la resistencia al corte. Los científicos de los alimentos reúnen todas estas propiedades bajo el término textura.
4. Si un producto es consistente, el disolvente se vera inmovilizado en él. La transferencia de masa tendrá lugar más por difusión que por convección, lo que puede afectar considerablemente las velocidades de reacción.
5. El aspecto visual del sistema puede verse notablemente afectado debido a la dispersión de la luz por los elementos estructurales, siempre que éste tenga un tamaño mayor a 50 nm.

6. Puesto que el sistema es heterogéneo, al menos a escala microscópica puede ser físicamente inestable. Durante el almacenamiento pueden tener lugar en él diversos cambios perceptibles como heterogeneidad microscópica: por ejemplo la separación de capas.

3.2.2 Surfactantes

Los surfactantes de uso alimentario son ésteres incompletos de ácidos grasos y polialcoholes o ácidos orgánicos solubles en agua, los cuales, constan de una parte hidrofílica y otra hidrofóbica (Dominic, 1995).

Los surfactantes pertenecen a dos tipos: polímeros y sustancias similares al jabón, es decir, moléculas pequeñas anfifílicas cuya parte hidrófoba (lipófila) está constituida típicamente por una cadena alifática. La mitad hidrófila puede ser de naturaleza muy diversa. La mayoría de las sustancias anfifílicas son poco solubles en agua y en aceite, las cuales son menos repelidas por estos disolventes cuando parte de ellas se encuentra en un ambiente hidrófilo (agua, una sustancia hidrófila), y la otra parte en un ambiente hidrófobo (aceite, aire o una sustancia hidrófoba). En disolución tienden a formar micelas para disminuir la actividad repulsiva con el disolvente (Fennema, 2000).

Los surfactantes se clasifican en no iónicos, aniónicos y catiónicos, de acuerdo a la naturaleza de su porción hidrófila (Krog, 1990; Shinoda y col., 1983). En la tabla 2 se muestran algunos ejemplos de surfactantes utilizados en el área de alimentos.

Una característica importante de los surfactantes de bajo peso molecular es su valor HLB, es decir, su balance hidrófilo-lipófilo que es la razón entre el

porcentaje en peso de grupos hidrófilos en la molécula del emulsificante y el porcentaje en peso de grupos hidrófobos, de tal forma que un valor de 7 significa que el surfactante tiene aproximadamente igual solubilidad en agua que en aceite (Lewis, 1993).

Tabla 2. Tipos de surfactantes

Tipo	Ejemplo de surfactante	Valor HLB
No iónicos		
Alcohol alifático	Hexadecanol	1
Monoacilglicerol	Monoestearato de glicerol	3.8
Ésteres de monoacilgliceroles	Monopalmitato de lactoilo	8
Spans	Monoestearato de sorbitol	4.7
	Monooleato de sorbitol	7
	Monolaurato de sorbitol	8.6
Tween 80	Monooleato de polioxietilen sorbitol	15
Aniónicos		
Jabones	Oleato Na	18
Esteres del ácido láctico	Estearoil-2-lactoil lactato Na	21
Fosfolípidos	Lecitina	Elevado

Tomada de: Fennema, 2000.

Los Tweens, son esterés de polioxietilén sorbitano parcialmente esterificados con ácidos grasos superiores, son no iónicos y son algo diferentes de los demás, en cuanto que la mitad hidrófila contiene tres o cuatro cadenas de polioxietileno formadas por unos cinco monómeros aproximadamente. En la tabla 3 se muestra algunos ejemplos de Tween y sus valores HLB.

Tabla 3. Ejemplos de Tweens

Nombre	Valor HLB
Tween 61	9.6
Tween 81	10
Tween 65	10.5
Tween 85	11
Tween 21	13.3
Tween 60	14.9
Tween 80	15
Tween 40	15.6
Tween 20	16.7

Tomada de: Becker, 2001

Emulsificantes que posean valores HLB inferiores a 8 son lipofílicos, en tanto que los que tienen valores HLB comprendidos entre 8 y 11 son intermedios y los que poseen valores HLB situados entre 11 y 20 se consideran hidrofílicos. Los valores HLB en el rango de 3-6 favorecerán las emulsiones de agua en aceite, mientras que se forman emulsiones de aceite en agua con emulsificantes que tengan valores HLB entre 8 y 18. Por ejemplo, una emulsión de aceite vegetal en agua precisa un valor HLB comprendido entre 7 y 17, mientras que una emulsión de agua en aceite necesita un valor próximo a 5 (Lewis, 1993).

En general las cadenas alifáticas largas producen valores de HLB bajos y los grupos más polares (especialmente los ionizados) o de gran tamaño dan valores HLB más altos. Para la mayor parte de los surfactantes, el número HLB disminuye al aumentar la temperatura. Esto supone que algunos surfactantes muestran una temperatura HLB o temperatura de inversión de fase (PIT por sus siglas en inglés), a la que alcanzan el valor de 7. Por encima del PIT el surfactante tiende a formar una emulsión de agua en aceite y por debajo de él una emulsión de aceite en agua (Fennema, 2000).

A concentraciones por encima de la concentración micelar crítica [(CMC), Concentración mínima del surfactante para que forme una micela], las moléculas del surfactante forman micelas y su actividad apenas aumenta al aumentar la concentración. Esto es, la tensión interfacial (γ), se hace esencialmente independiente de la concentración. A concentraciones ligeramente por debajo de la concentración micelar crítica, la carga superficial alcanza el valor «meseta». En una serie homóloga de surfactantes, cuanto más larga sea la longitud de la cadena, menor es la concentración micelar crítica y la concentración necesaria para obtener un determinado descenso de γ . Esto significa que las moléculas surfactantes más grandes tienen mayor actividad de superficie. En los surfactantes iónicos la concentración micelar crítica disminuye mucho y la actividad superficial aumenta al aumentar la fuerza iónica. Ambas propiedades pueden ser dependientes del pH. El resultado de las medidas de γ puede no ser representativo de los valores reales en una espuma o en una emulsión. Finalmente, el valor de la concentración micelar puede no ser muy fácil de observar en las mezclas de surfactantes, especialmente cuando los surfactantes son del tipo no iónico (Dickinson y col., 1991).

En la figura 1 se muestra de manera muy esquemática el mecanismo de

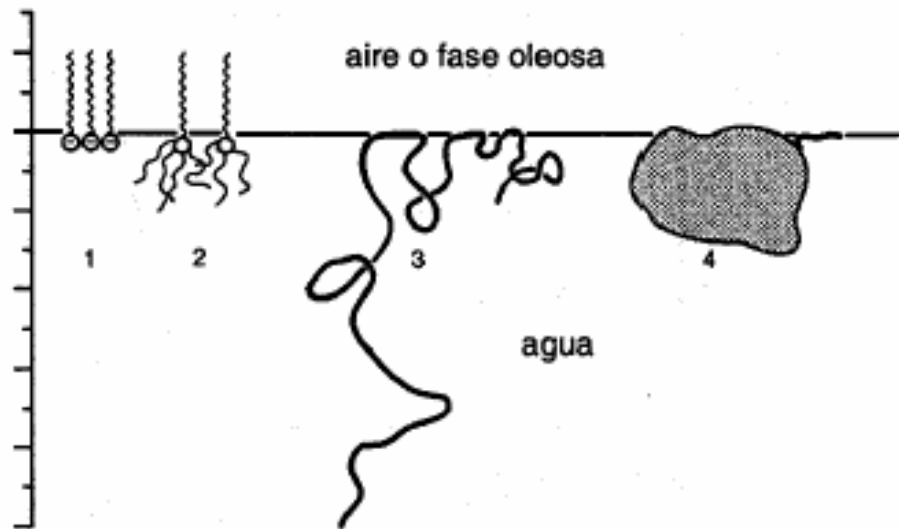


Figura 1. Mecanismo de adsorción de diversos surfactantes en la interfase aceite-agua: 1, Jabón; 2, Tween; 3, Un polímero de tamaño razonable; 4, Proteína globular. A la izquierda, escala en nanómetros (Fennema, 2000).

absorción de algunos surfactantes. En esta figura se aprecia como los segmentos que son hidrofóbicos se absorben en la fase oleosa, mientras que los segmentos hidrofílicos permanecen en la fase acuosa, dando de esta manera una estabilidad a la interfase agua-aceite.

3.2.2.1. Funciones de los surfactantes

En los alimentos, los surfactantes, ya sean moléculas anfifílicas pequeñas o proteínas, producen los efectos que a continuación se resumen (Fennema, 2000).

1. Debido al descenso de γ , disminuye la presión de Laplace (la cual se define como el esfuerzo necesario para romper una columna líquida que debe estar contenida en un tubo delgado o capilar) y facilita la deformación de la interfase, lo que resulta importante en la formación de emulsiones y espumas, así como en la prevención de la coalescencia.
2. Afectan a los ángulos de contacto, lo que tiene importantes repercusiones en la humectación y la dispersión. El ángulo de contacto determina que una partícula pueda o no absorberse en la interfase de un líquido y se pegue más o menos a una u otra fase líquida. Estos aspectos tienen repercusiones sobre la estabilidad de algunas emulsiones y espumas.
3. Reducen la energía libre interfacial, lo que disminuye proporcionalmente la maduración de Ostwald, que consiste en la desaparición gradual de las gotitas pequeñas formándose así gotas más grandes.

4. La presencia de surfactantes permite la creación de gradientes de tensión superficial, la cual puede ser su función más importante. Son esenciales para la formación y estabilidad de emulsiones y espumas.
5. La adsorción de surfactantes sobre las partículas puede modificar considerablemente las fuerzas inter-partículas, generalmente incrementando la repulsión y, por tanto, la estabilidad.
6. Los surfactantes de bajo peso molecular pueden interaccionar específicamente con macromoléculas. Estos con frecuencia se asocian a las proteínas, modificando las propiedades de las mismas. Algunos lípidos polares también pueden interaccionar con la amilosa.

3.2.3. Emulsiones

Una emulsión es una mezcla de dos fases inmiscibles, una dispersa o discontinua en forma de gotitas o cristales líquidos, y otra no dispersa o continúa. Si es la grasa la que esta dispersa, en forma de gotitas diminutas, en agua, que es la fase continua, la emulsión se denomina del tipo grasa en agua (Oil/Water, O/W). Sin embargo, cuando es el agua la que se encuentra dispersa en la grasa la emulsión se denomina de agua en grasa (Water/Oil, W/O; Dominic, 1995).

Las variables más importantes que determinan las propiedades de una emulsión son las siguientes (Fennema, 2000):

1. El tipo de emulsión, es decir, o/w ó w/o. El tipo determina, entre otras cosas, con qué líquido puede diluirse una emulsión. Las emulsiones o/w son muy frecuentes; como ejemplo pueden citarse la leche y diversos

productos lácteos, las salsas, los aderezos y las sopas. La mantequilla y la margarina son emulsiones w/o, pero contienen otros elementos estructurales.

2. La distribución del tamaño de las gotas. Repercute de un modo importante en la estabilidad física; generalmente las gotas más pequeñas constituyen emulsiones más estables. La energía y la cantidad de emulgente necesarias para producir la emulsión dependen del tamaño de partícula deseado. Un diámetro típico de las gotas dispersas es el de 1 μm , pero puede oscilar entre 0.2 y varios micrómetros. La amplitud de la distribución de tamaño es igualmente importante, por la gran dependencia de la estabilidad con respecto al tamaño de partícula.
3. La fracción volumétrica de la fase dispersa (ϕ). En la mayor parte de los alimentos ϕ oscila entre 0.01 y 0.4. En la mayonesa se puede observar un valor de 0.8, que es un valor superior al máximo para el empaquetamiento de esferas rígidas, aproximadamente 0.7; esto significa que las gotas de aceite tienen que estar algo distorsionadas.
4. La composición y grosor de la película superficial en torno a las gotitas. Determina la tensión interfacial, las fuerzas de interacción coloidales, etc.
5. La composición de la fase continua que determina las relaciones entre el disolvente y el surfactante y, por tanto, las interacciones coloidales. La viscosidad de la fase continua afecta considerablemente al desnatado.

A diferencia de las partículas sólidas en suspensión, las gotitas de las emulsiones son esféricas y deformables (lo que permite la rotura de las mismas y la coalescencia) y la interfase es fluida (lo que permite que se desarrollen gradientes de tensión superficial). Sin embargo, en la mayor parte de los casos, las gotitas de las emulsiones se comportan como esferas sólidas, a menos que la agitación sea extremadamente intensa o las gotitas muy grandes.

3.2.3.1. Formación de la emulsión

Para obtener una emulsión se necesita aceite, agua, un emulgente (es decir, un surfactante) y energía (generalmente energía mecánica). Fabricar las gotas es fácil, romperlas en otras más pequeñas es difícil. Las gotas resisten la deformación y la rotura, por que a ello se opone la presión de Laplace, que es un tanto mayor en cuanto más pequeño sea el diámetro de la gotita. Se necesita, por ello, un considerable consumo de energía. La energía necesaria se puede reducir si se reduce la tensión interfacial y, por tanto, la presión de Laplace, añadiendo un emulgente, aunque este no sea el papel fundamental del mismo (Fennema, 2000).

La energía necesaria para formar y romper las gotitas se suministra generalmente mediante una agitación intensa. La agitación puede generar fuerzas de cizalla suficientemente intensas si la fase continúa es muy viscosa, como suele suceder al fabricar emulsiones w/o, lo que resulta en gotitas con diámetros de hasta unos cuantos micrómetros. En una emulsión o/w, la viscosidad de la fase continua tiende a ser baja; para romper las gotitas se requieren fuerzas de inercia producidas por las rápidas e intensas fluctuaciones de presión debidas al flujo turbulento. El instrumento de elección es un homogenizador de alta presión, que puede producir gotitas de hasta 0.2 μm . El tamaño medio de la gotitas es aproximadamente proporcional a la presión de homogenización elevada a la potencia $- 0.6$. Cuando se utilizan agitadores de alta velocidad, agitaciones

rápidas y prolongadas, o agitaciones en volúmenes reducidos, las gotitas son menores (Fennema, 2000).

En la Figura 2, se muestran los procesos que tienen lugar durante la emulsión. Además de la ruptura de las gotitas (Figura 2a), el emulgente tiene que ser transportado a las nuevas interfases creadas (Figura 2b). El emulgente no es transportado por difusión sino por convección; el transporte es muy rápido. La intensa turbulencia (o el elevado gradiente de velocidad) determina frecuentes colisiones entre las gotitas (Figuras 2c y 2d). Si las gotitas no están en ese momento suficientemente recubiertas por el surfactante pueden coalescer de nuevo (Figura 2c). Estos procesos tienen su propia escala de tiempo, que depende de diferentes circunstancias, pero un microsegundo es bastante característico. Esto quiere decir que todos los procesos ocurren numerosas veces, incluso durante un sólo paso a través de una válvula homogeneizadora de estado, y que alcanza más o menos un estado estacionario en el que la ruptura y la coalescencia acaban equilibrándose (Fennema, 2000).

Si se desplazan dos gotas aproximándose (Figura 3a) durante la formación de la emulsión, lo que frecuentemente hacen a gran velocidad, y si no están recubiertas en toda su superficie por el emulsificante, durante su mutua aproximación se recubrirán de más emulgente, pero la concentración de emulgente será menor donde la película entre las gotitas sea más fina. Esto producirá un gradiente de tensión interfacial; la tensión interfacial (γ) mayor se alcanzará donde la película sea más delgada (Figura 3b). El gradiente creado hará que el emulgente, y por tanto las superficies de la gota, se desplacen hacia las zonas en las que γ alcance un valor más alto, arrastrando líquido con él (Figura 3b). Éste es el efecto Marangoni. La corriente de líquido así creada alejará las gotitas (Figura 3c); aparece así un mecanismo de auto-estabilización. La magnitud

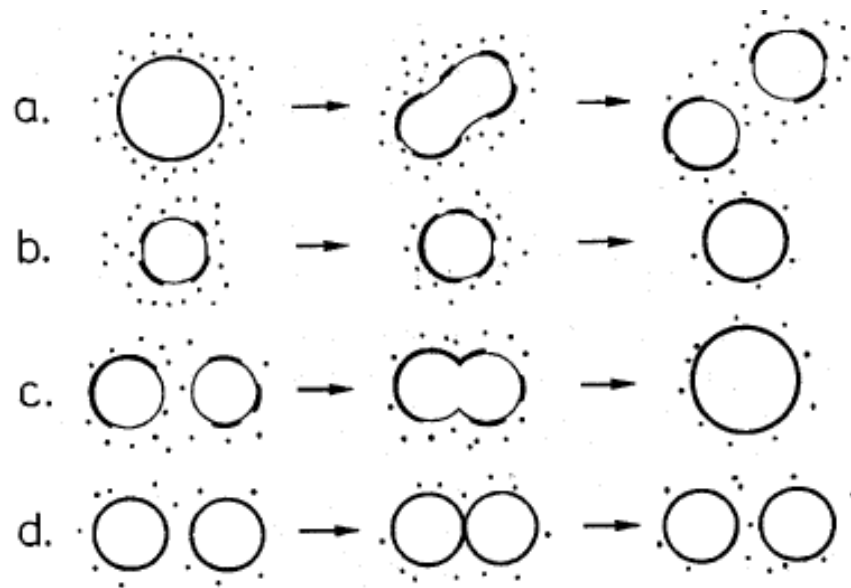


Figura 2. Procesos importantes durante la formación de la emulsión.
Los límites de la gota se indican con líneas delgadas y el emulgente con trazos gruesos y puntos (Fennema, 2000).

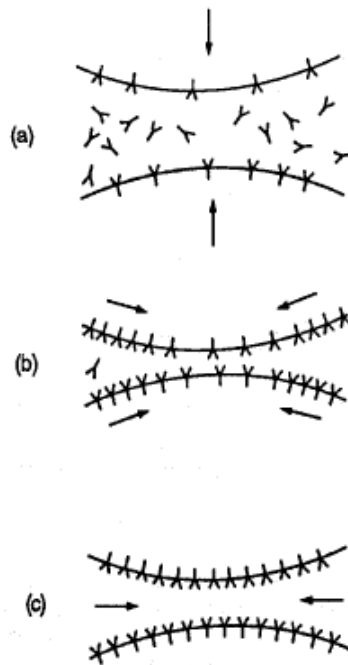


Figura 3. Representación del efecto Gibbs-Marangoni actuando sobre dos gotitas de una emulsión que se aproximan durante su fabricación. Las moléculas del emulgente vienen indicadas por el signo Y (Fennema 2000).

del efecto depende de la elasticidad de Gibbs de la película, que es dos veces el módulo de dilatación superficial. La elasticidad de Gibbs aumenta generalmente con la concentración molar del surfactante en la fase continua (Fennema, 2000).

El efecto de Gibbs-Marangoni opera sólo si el emulgente se encuentra en la fase continua, dado que de otro modo no se puede crear un gradiente de γ . Éste es el fundamento en el que se basa la regla de Bancroft que dice que la fase en la que el emulgente es soluble se convierte en fase continua. De ahí la necesidad de que en las emulsiones o/w se utilice un surfactante con un valor HLB elevado y en las emulsiones w/o un surfactante con un valor HLB bajo (Fennema, 2000).

Para las emulsiones alimenticias o/w, las proteínas son un ejemplo de emulgentes, porque son comestibles, además de tensoactivas y porque proporcionan una gran resistencia a la coalescencia. No pueden usarse para emulsiones w/o por su insolubilidad en la fase oleosa. Las proteínas no proporcionan tensiones interfaciales muy bajas y su efecto Gibbs-Marangoni no es muy intenso, probablemente por su baja concentración molar. Por tanto, las gotitas obtenidas no son muy pequeñas para unas determinadas condiciones de trabajo. Sin embargo, se puede conseguir que las gotitas sean de menor tamaño, aplicando una presión de homogenización más alta. A concentraciones altas de emulgente, el tamaño de gotita medio alcanza un valor meseta. Este valor es menor para los surfactantes no iónicos que para las proteínas, porque los primeros rebajan más la tensión interfacial. A bajas concentraciones también son más eficaces que las proteínas los surfactantes no iónicos, probablemente por su efecto Gibbs-Marangoni mayor (Fennema, 2000). En la figura 4 se muestra la orientación que presenta el emulsificante de acuerdo al tipo de emulsión preparada, observándose como se forma la micela en la interfase agua aceite.

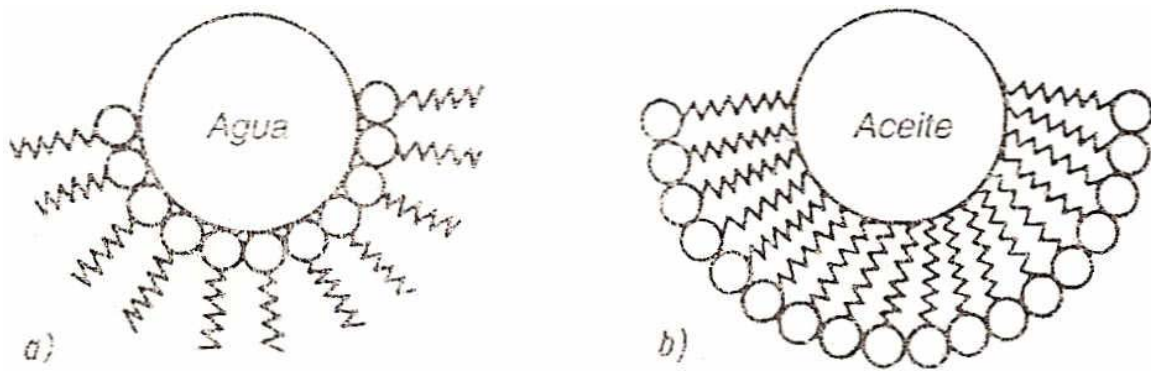


Figura 4. Orientación de las moléculas tensioactivas, a) hidrofugación en líquido apolar; b) hidrofiliación en un líquido polar (Horst-Dieter, 2001).

Otra variable importante es la carga superficial (Γ). Si un emulgente tiende a dar una Γ alta, se necesita una cantidad del mismo relativamente grande para producir una emulsión. Para obtener una emulsión estable se necesita un valor razonablemente alto de Γ . En el caso de surfactantes de pequeño tamaño molecular, entre Γ y la concentración del surfactante en la fase dispersante se alcanza un equilibrio, gobernado por la relación de Gibbs (Fennema, 2000).

El emulgente no es sólo necesario para la formación de la emulsión sino también para estabilizarla una vez fabricada. Es importante distinguir entre estas dos funciones básicas, porque no están relacionadas entre sí. Un emulgente puede ser idóneo para permitir fabricar gotitas pequeñas, pero no impedir durante largo tiempo la coalescencia, o al contrario. Valorar la idoneidad de las proteínas como emulgentes, teniendo en cuenta sólo su capacidad de facilitar la producción de gotitas de pequeño tamaño no tiene, por ello, mucho sentido. Otra función, generalmente deseable, de un surfactante es la de evitar la agregación bajo ciertas circunstancias (pH en la proximidad del punto isoeléctrico, fuerzas iónicas altas, disolvente poco idóneo, temperaturas elevadas; Fennema, 2000).

3.2.3.2. Tipos de inestabilidad en las emulsiones.

Las emulsiones pueden sufrir distintos tipos de cambios físicos que se ilustran en la Figura 5, los cuales se explican a detalle en los párrafos posteriores. Para las emulsiones O/W; a diferencia de las W/O que tienden a sedimentar.

La maduración de Ostwald no suele producirse en las emulsiones O/W, porque las grasas, constituidas por triacilglicéridos, que son las habitualmente usadas, son insolubles en agua. Cuando se trata de aceites esenciales (por ej., en los zumos de cítricos), algunos tienen solubilidad suficiente para la desaparición

gradual de las gotitas pequeñas. Las emulsiones w/o pueden sufrir maduración de Ostwald.

Si la diferencia de densidad es negativa, la capa de moléculas de la fase dispersa tiende a migrar hacia la superficie. Los diversos cambios pueden verse mutuamente afectados. La agregación facilita considerablemente el desnatado y, si ocurre, el desnatado incrementa la velocidad de agregación y así sucesivamente. La coalescencia sólo se da si las gotitas se aproximan entre sí, es decir, en los agregados o en las capas de moléculas de la fase dispersa. Cuanto más compacta sea la capa de moléculas de la fase dispersa, más rápida será la coalescencia. Si se produce la coalescencia parcial de la capa, ésta adquirirá las características de un tapón sólido (Fennema, 2000).

La coalescencia determina la formación de gotas grandes, no de agregados irregulares. Los agregados irregulares, fruto de la coalescencia parcial coalescerán en gotas grandes cuando se calienten lo suficiente para fundir los cristales de triacilglicéridos. Es bastante frecuente que la coalescencia o la coalescencia parcial conduzcan a distribuciones de tamaño muy amplias; luego, las gotas mayores «migran a la superficie» muy deprisa.

La coalescencia es inducida por la ruptura de la película fina (laminilla) que separa las gotitas próximas, si en la película se forma un pequeño orificio, las gotitas convergerán. La rotura de la película es un suceso casual, que tiene importantes consecuencias: (a) La probabilidad de coalescencia, cuando es posible, será proporcional al tiempo durante el cual las gotitas permanezcan próximas. De aquí que sea especialmente probable en los agregados o en las capas de «nata». (b) La coalescencia es un proceso de primer orden, a diferencia

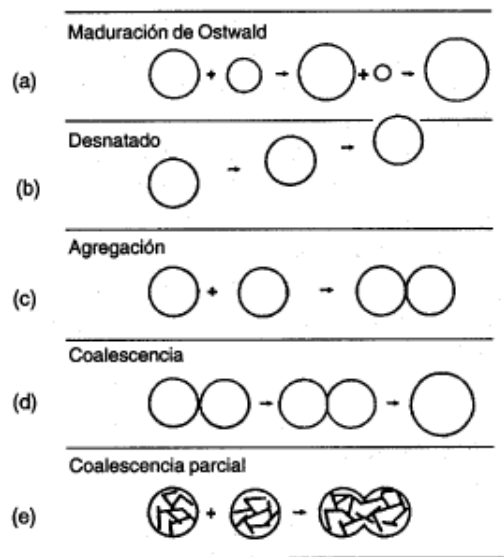


Figura 5. Mecanismos de inestabilización de las emulsiones de grasa en agua. El área de contacto señalada en (d) puede ser muy exagerada; las líneas gruesas de (e) representan cristales de triacilglicéridos (Fennema 2000).

de la agregación que, en principio, es de segundo orden con respecto al tiempo y a la concentración. (c) La probabilidad de que se rompa una película será proporcional a su área. Esto implica, que por aumentar el área de la película, el aplanamiento de las gotas, al aproximarse, promoverán la coalescencia. Las gotitas de aceite normalmente presentes en las emulsiones alimenticias no sufren este aplanamiento, porque su presión de Laplace es muy alta.

La coalescencia es menos probable (Becher, 2001):

1. En las gotas más pequeñas. Las gotas más pequeñas tienen una película de menor área y por tanto menor probabilidad de rotura de la misma; se necesitan más coalescencias para obtener gotas de un cierto tamaño; la velocidad de «desnatado» disminuye.
2. Cuanto más gruesa sea la película que separa las gotitas. Una película más gruesa supone fuerzas repulsivas más intensas o de mayor alcance, entre las gotitas que les conceden mayor estabilidad contra la coalescencia. Respecto a las interacciones del tipo Deryagin-Landau, Verwey-Overbeek (DLVO; teoría sobre la estabilidad de coloides), la agregación de las gotitas en un mínimo primario facilitara la coalescencia. La repulsión estérica es especialmente eficaz contra la coalescencia, porque mantiene las gotitas relativamente distantes.
3. Cuanto mayor es la tensión interfacial. Esto puede parecer extraño, porque para hacer una emulsión se necesita un surfactante y los surfactantes disminuyen γ . Además valores de γ más pequeños implican que el sistema tiene menor energía libre superficial. Sin embargo, lo que

importa es la energía libre de activación para la rotura de la película, que es mayor cuanto mayor sea γ , porque un valor grande de γ dificulta más la deformación de la película y la deformación facilita la ruptura.

La mayor parte de los surfactantes de bajo peso molecular disminuyen mucho la tensión interfacial. Un valor bajo de γ favorece la coalescencia, por ello los más eficaces son los surfactantes que proporcionan una repulsión estérica considerable, como los Tweens. Los surfactantes iónicos sólo son efectivos contra la coalescencia a fuerzas iónicas muy bajas (Fennema, 2000).

En muchas emulsiones alimenticias del tipo o/w, se puede cristalizar parte de la grasa de las gotitas, esto puede provocar un mecanismo de inestabilidad que se le conoce como coalescencia parcial. La fracción de grasa sólida, Ψ , depende de la composición de la mezcla de triacilglicéridos y de la temperatura.

La agitación puede perturbar el desnatado y romper los agregados de gotitas débilmente unidas pero no los agregados irregulares formados por coalescencia parcial. Una agitación lenta tiende a evitar la coalescencia verdadera.

Si se bate en una emulsión O/W se adsorberán las gotitas sobre las burbujas de aire. Las gotitas pueden entonces romperse en otras más pequeñas, debido a la dispersión del aceite sobre la interfase o/w. Si las gotitas contienen grasas en estado cristalino, pueden formarse agregados irregulares por coalescencia parcial. Esto es lo que sucede durante el batido de la nata para fabricar mantequilla y en la elaboración de nata montada.

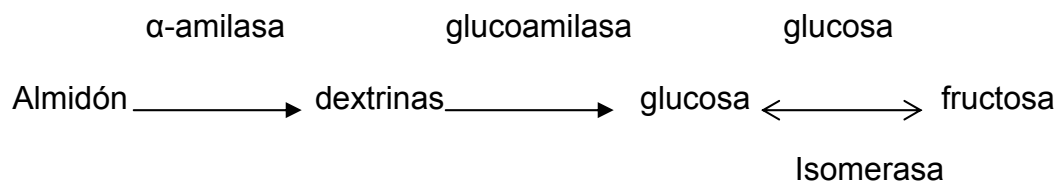
Una forma de evitar o retrasar todos los cambios, excepto la maduración de Ostwald, consiste en gelificar la fase continua. Ejemplos de ella son la mantequilla y la margarina. Aquí las gotitas de agua quedan inmobilizadas en una red de cristales de grasa. Además algunos cristales se orientan en la interfase grasa/agua, en virtud de un ángulo de contacto favorable. De este modo, las gotitas no pueden aproximarse demasiado. Si se calienta el producto, para fundir los cristales, las gotitas de la fase oleosa coalescen rápidamente. Con frecuencia se añade a la margarina un surfactante adecuado, para impedir la coalescencia rápida durante el calentamiento, porque de lo contrario salpicaría mucho durante la fritura.

3.3. Propiedades de los ingredientes empleados para la elaboración del sustituto de crema pastelera

A continuación se da una descripción detallada de las propiedades de las materias primas que se emplearon en el presente trabajo de investigación.

3.3.1. Jarabe de maíz

El jarabe de maíz es la mayor fuente habitual de D-glucosa y D-fructosa. Para hacer el jarabe de maíz, se mezcla el almidón de maíz embebido en agua con una α -amilasa termoestable, y al calentar se produce rápidamente la gelatinización y la hidrólisis catalizada por el enzima. Después de enfriar a 55-60 °C, la hidrólisis se continúa con glucoamilasa, tras lo cual el jarabe es clarificado, concentrado, refinado con carbón activo y sometido a intercambio iónico. Si el jarabe es adecuadamente refinado y sembrado con núcleos de cristalización se obtiene D-glucosa cristalina (dextrosa) o su monohidrato. A continuación se muestra un esquema del proceso de obtención del jarabe de maíz por métodos enzimáticos.



Se calienta el almidón a 105°C, se añade α -amilasa de *Bacillus licheniformis* y se producen dextrinas de grado de polimerización (DP) de 10-12 unidades de glucosa por la acción del enzima de tipo *endo*. El producto soluble se pasa a través de columnas gigantes de glucoamilasa inmovilizada donde se produce glucosa. El ligando que contienen la glucosa se hace circular por columnas gigantes de glucosa isomerasa inmovilizada donde se producen concentraciones aproximadamente equimolares de glucosa y de fructosa. La fructosa se separa entonces de la glucosa por cristalización diferencial y es utilizada por la industria alimentaria como uno de los edulcorantes más importantes, además de ser utilizado en la industria panadera para dar cuerpo y sensación bucal en los productos y también se utiliza para evitar la cristalización de azúcares simples (Dominic, 1995).

3.3.2. Almidones modificados

En el procesado de alimentos se prefieren en general almidones con mejores propiedades que las que poseen los almidones nativos. Los almidones nativos proporcionan en particular pastas de poco cuerpo, cohesivas y gomosas cuando son calentados, y geles no deseables, cuando estas pastas se enfrían. Las propiedades de los almidones pueden modificarse para ser mejoradas. La modificación se lleva a cabo de manera que las pastas resultantes pueden resistir las condiciones de calor, fuerzas y ácidos asociadas con las condiciones de procesado de alimentos y para introducir funciones específicas. Los almidones modificados son aditivos e ingredientes funcionales, útiles y abundantes en los alimentos procesados. (Fennema, 2000)

Los tipos de modificación llevados a cabo con más frecuencia a veces de manera única, pero a menudo en combinación, son el entrecruzamiento de cadenas de polímero, la derivatización sin entrecruzamiento, la despolimerización y la pregelatinización. Mejoras específicas de sus propiedades que pueden ser obtenidas por combinaciones de modificaciones son la reducción de la energía requerida para la cocción (mejora de la gelatinización y la formación de pastas), modificación de las características de cocción, incremento de la solubilidad, incremento o disminución de la viscosidad, incremento de la estabilidad de las pastas a ciclos de congelación-descongelación, mejora de la claridad de la pasta, mejora del brillo de la pasta, inhibición de la formación de geles, favorecimiento de la formación de geles y de su fuerza, reducción de la sinéresis de los geles, mejora de la interacción con otras sustancias, mejora de la estabilidad, incremento de la capacidad de formación de películas, mejora de la resistencia al agua de estas películas, disminución de la cohesividad de la pasta y mejora de la estabilidad al calor y a las fuerzas de cizalla (Fennema, 2000).

3.3.2.1. Almidones entrecruzados

La mayoría de los almidones modificados son entrecruzados. El entrecruzamiento se produce cuando los gránulos de almidón se hacen reaccionar con agentes di-funcionales, tales como el metafosfato trisódico, oxiclورو de fósforo, epiclorhidrina o anhídridos mixtos de ácido acético y un ácido dicarboxílico como el adipico, los cuales reaccionan con dos grupos hidroxilo de distintas moléculas del mismo grano, produciendo compuestos de almidones entrecruzados (almidón R-OH). La forma más frecuente de entrecruzamiento es la producción de ésteres fosfato de dialmidón (Belitz, 1997).

Las pastas cocidas de almidones entrecruzados son más viscosas, con más cuerpo, una textura más corta y con menos tendencia a degradarse en las

cocciones largas o por exposición a pH bajo y/o agitaciones severas, en las pastas de los almidones nativos a partir de los cuales son preparados (Fennema, 2000).

Los almidones entrecruzados se utilizan en todos aquellos productos en los que es necesaria una gran estabilidad (Belitz, 1997).

3.3.2.2. Dextrinas

El calentamiento del almidón a 100-200 °C con pequeñas cantidades de catalizadores ácidos o básicos conduce a una degradación más o menos extensa. Se obtienen polvos blancos o amarillos, que forman disoluciones límpidas o turbias, muy pegajosas de diferente viscosidad. Estos productos se emplean como aglutinantes en dulces y como sustitutivos de las grasas (Imeson, 1992).

3.3.2.3. Almidones pregelatinizados

Por calentamiento de las suspensiones de almidón y posterior desecación se obtienen productos solubles en agua fría y capaces de formar geles. Éstos se utilizan en productos alimenticios instantáneos, por ejemplo, en flanes y similares o como coadyuvantes en panadería (Belitz, 1997).

3.3.2.4. Almidón levemente hidrolizado

Por hidrólisis parcial del almidón se obtienen productos poco solubles en agua fría pero de buena solubilidad en agua hirviendo. Las disoluciones poseen una viscosidad menor que la del almidón original y permanecen muy fluidas también al enfriar. Este tipo de almidones se utilizan fundamentalmente como espesantes y para la preparación de películas protectoras (Belitz, 1997).

3.3.2.5. Éteres de almidón

La reacción de una suspensión de almidón al 30-40 % con óxido de etileno o de propileno en presencia de óxidos alcalinos o alcalinotérreos (pH 11-13), conduce a la formación de derivados de hidroxietilo o hidroxipropilo. Sus dispersiones al 1-3 % poseen una consistencia pastosa, y al 3-4 % llega a ser un gel, son interesantes como espesantes y gelificantes (Belitz, 1997).

3.3.2.6. Esteres de almidón

Se obtienen por calentamiento del almidón con ácidos orgánicos, la capacidad espesante de los esterres de almidón es mayor que la del almidón nativo. Estos derivados poseen también una buena estabilidad frente a la congelación. Se utilizan pues como espesantes y estabilizadores en alimentos tales como productos de panadería, sopas, salsas, postres, margarinas, congelados y conservas. También están indicados en recubrimientos protectores de frutas desecadas o para el encapsulamiento de aromas (Belitz, 1997).

3.3.2.7. Almidones oxidados

La reacción del almidón con disoluciones alcalinas de hipoclorito a temperaturas inferiores del punto de gelatinización conduce, por medio de hidrólisis y oxidación, a productos con grupos carboxílicos, de los que, como promedio, existe uno cada 25-50 restos de glucosa. Estos se utilizan en productos alimenticios de baja viscosidad, tales como salsas para ensaladas y mayonesa. A diferencia de los almidones levemente hidrolizados, los oxidados no sufren retrogradación ni forman geles (Imeson, 1992).

El almidón, como todos los carbohidratos, puede sufrir reacciones en sus diversos grupos hidroxilo. En los almidones modificados (Fig. 6) sólo unos pocos de sus grupos hidroxilo son modificados, los grupos éster y éter son introducidos con bajos valores de grado de sustitución (GS: el cual se define como el número medio de grupos hidroxilo esterificados o eterificados por unidad de monosacáridos).

Los almidones modificados de maíz céreo son muy utilizados en la industria alimentaria de Estados Unidos de Norteamérica. Las pastas de almidón común de maíz sin modificar forman geles, y estos geles son en general cohesivos, gomosos, con mucha textura y con tendencia a sufrir sinéresis. Sin embargo, las pastas de almidón de maíz céreo muestran poca tendencia a gelificar a temperatura ambiente, y ésta es la razón por la que se prefieren este tipo de almidones para su uso en industria alimentaria. Pero estas pastas de almidón de maíz céreo se van haciendo turbias y grumosas, y sufren sinéresis cuando se almacenan en condiciones de refrigeración o congelación, por lo que incluso este tipo de almidones se modifican para aumentar la estabilidad de sus pastas. Los derivados más útiles y más comúnmente empleados para la estabilización del almidón son el éter de hidroxipropilo, el éster fosfato de monoalmidón y el éster acético (Fennema, 2000).

3.3.3. Sacarosa

La sacarosa (Fig. 7) está compuesta por una unidad de α -D-glucopiranosilo y otra β -fructofuranosilo unidas cabeza con cabeza (por los extremos reductores), en lugar de la forma más usual cabeza-cola. Puesto que no se posee extremo reductor libre, es un azúcar no reductor. Se utiliza en forma sólida o como soluciones líquidas de jarabe (Lück, 1995).

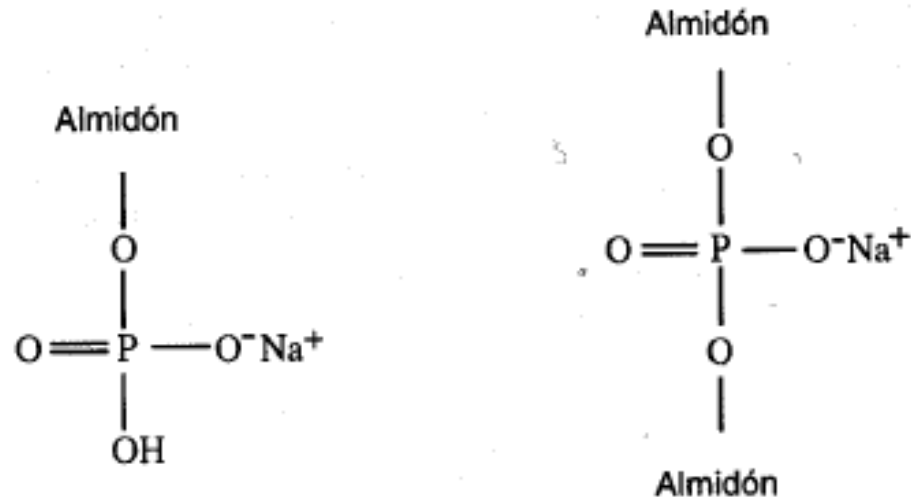


Figura 6. Estructuras de un monoéster fosfato de almidón (izquierda) y de un diéster fosfato (derecha). El diéster une dos moléculas de almidón lo que da lugar a la formación de almidones entrecruzados (Fennema, 2000).

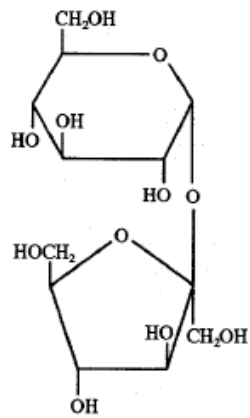


Figura 7. Estructura de la sacarosa. Fennema, 2000.

Existen 2 fuentes principales de sacarosa comercial: la caña de azúcar y la remolacha azucarera. El azúcar moreno comercial se elabora por tratamiento de los cristales de azúcar blanco con melazas, hasta conseguir un recubrimiento del grosor deseado. El grado de color va desde el amarillo claro hasta el pardo oscuro. El azúcar en polvo o azúcar glass es simplemente azúcar pulverizada. Normalmente contiene 3% de almidón de maíz como agente antiapelmazante. Para hacer azúcar «fondant», que se utiliza en recubrimientos y glaseados en pastelería, los cristales muy finos de sacarosa se recubren con una solución saturada de azúcar invertido, jarabe de almidón o maltodextrina. Para muchas aplicaciones de la industria alimentaria no se usa en forma cristalizada; por el contrario, se comercializa como una solución acuosa refinada que se denomina azúcar líquido. La sacarosa y la mayoría de los carbohidratos de bajo peso molecular (por ej., monosacáridos, alditos, disacáridos y otros oligosacáridos), a causa de su gran hidrofilia y solubilidad, pueden formar soluciones altamente concentradas de una gran osmolalidad. Tales soluciones, ejemplificadas en los jarabes para «pancakes» y «goffres», o miel, no necesitan conservantes para mantenerlos en buenas condiciones y pueden ser utilizados, no sólo como edulcorantes (aunque no tiene por qué ser cierto que todos estos jarabes de carbohidratos sean muy dulces), sino también como humectantes y conservantes (Fennema, 2000).

Como el azúcar es el ingrediente mayoritario de muchos alimentos su adición con fines concertantes no está sometida a ningún tipo de restricciones legales alimentarias. Solamente existen restricciones cuantitativas sobre su uso en productos dietéticos para consumo por diabéticos y obesos, así como en los productos frutícolas, por razones de calidad. En la mayoría de los países, el azúcar no está definido como aditivo (Lück, 1995).

La combinación de la azúcar con métodos de conservación físicos, particularmente concentración, desecación y calentamiento, tiene gran importancia práctica, como la tiene la combinación de la sacarosa con otros conservantes. La sacarosa no tiene acción antimicrobiana directa sino que incluso a pequeñas concentraciones es realmente un nutriente que fácilmente aporta energía a la mayoría de los microorganismos (Lück, 1995).

Entre los productos conservados con azúcar que implica la concentración simultánea, los más importantes son las compotas y mermeladas, estos productos tienen actividades de agua de 0.75-0.82, los cuales no son siempre suficientemente bajos como para suprimir completamente el crecimiento de todos los mohos y la fermentación de levaduras osmotolerantes. Por esta razón, en muchos casos, se necesita también aplicar un tratamiento de pasteurización, o usar simultáneamente otros conservadores, por ejemplo ácido sórbico. Otros productos son las frutas en almíbar en las cuales se produce un intercambio osmótico entre la solución concentrada de azúcar y el jugo de las células de la fruta, productos horneados como las galletas y los dulces, productos de repostería como el mazapán, turrón y almendra garapiñada, postres de nueces con azúcar caramelizada y rellenos de chocolate (Lück, 1995).

Además de su acción conservante mediante la disminución de la actividad acuosa, la sacarosa imparte un sabor sumamente dulce, que realmente constituye la principal razón de su uso en muchos casos como ingrediente alimentario (Lück, 1995).

El tracto intestinal humano cataliza la hidrólisis de sacarosa a D-glucosa y D-fructosa, haciendo así de la sacarosa uno de los tres carbohidratos (a parte de los monosacáridos) que los seres humanos pueden aprovechar para obtener

energía; los otros dos son la lactosa y el almidón. Los monosacáridos (de los que sólo son significativos en nuestra dieta D-fructosa y D-glucosa) no necesitan sufrir digestión antes de la absorción intestinal (Fennema, 2000).

3.3.4. Alginato

El alginato comercial es una sal (figura 8), la mayoría de las veces la sal sódica, de un ácido poliurónico, el ácido algínico, que se obtiene a partir de algas pardas. Son solubles en agua en forma de sal con metales alcalinos, magnesio, amoníaco y aminas. La viscosidad de las disoluciones de alginato depende, entre otros factores, del peso molecular y del ion contrario de la sal (Belitz, 1997).

Las propiedades funcionales del alginato son: la viscosidad, la gelación y la formación de geles fuertes.

Los alginatos son muy utilizados para proporcionar altas viscosidades a bajas concentraciones. Una viscosidad aún mayor en condiciones de baja fuerza de cizalla puede ser conseguida introduciendo una pequeña cantidad de iones calcio. Ha resultado más útil en la elaboración de alimentos tales como cerezas artificiales, polvo de confitería gelificado con productos lácteos o rodajas artificiales de cebolla. Se usa también como espesante de salsas y condimentos, embutidos y rellenos de pastelería, al igual que como estabilizador de helados para evitar la formación de cristales de hielo y en recubrimientos de pastelería que contengan nata batida, yogures, bebidas lacteadas. La concentración de alginato usada en la elaboración de alimentos gelificados oscila entre el 0.5 y 1% (Dominic, 1995).

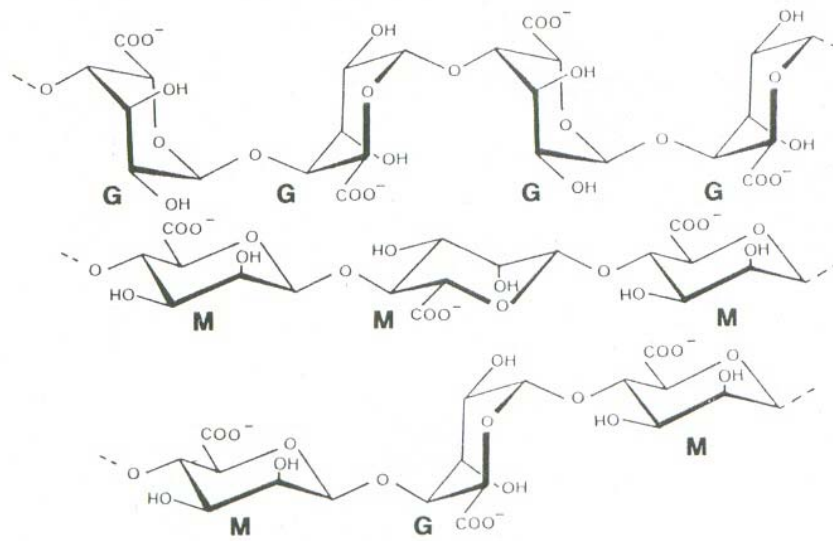


Figura 8. Estructura de una cadena de alginato, (tomado de Imeson, 1992).

3.3.5. Grasas

Químicamente las grasas pertenecen a la clase de compuestos orgánicos conocidos como ésteres, que se forman por la reacción de un alcohol con ácidos orgánicos (figura 9). El alcohol que participa en la formación de grasa es el glicerol trihídrico soluble en agua y los ácidos son los ácidos grasos, como por ejemplo el ácido butírico (Charley, 2001).

En las emulsiones de aceite en agua (O/W), o en los alimentos formados por gotas de grasa dispersas en una matriz acuosa, el oxígeno tiene que ganar acceso al lípido por difusión en la fase acuosa y pasar a través de la interfase grasa-agua. La velocidad de oxidación dependerá del juego entre numerosos factores, como la concentración de emulgente, el tamaño de las gotitas de grasa, el área interfacial, la viscosidad de la fase acuosa, la composición y porosidad de la matriz y el pH (Fennema, 2000).

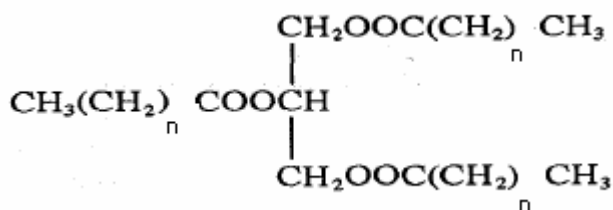


Figura 9. Estructura general de las grasas (Charley, 2001)

Las grasas son parte integral de casi todos los alimentos. Contribuyen con suavidad en la corteza de pastelería, en los pastelillos de grasa y en las galletas. Aereando los batidos o las masas, ayudan a establecer la textura en los productos horneados. Las grasas contribuyen o modifican el sabor de los alimentos e influyen en su “sensación bucal”. También se utilizan como medio para la

transferencia de calor al freír los alimentos. Algunas grasas como los fosfolípidos ayudan a la formación de las emulsiones (Charley, 2001).

3.4. Reología

La reología es una rama de las ciencias físicas que se encarga de estudiar el flujo y deformación de los materiales. Ésta ciencia abarca el área de flujo de fluidos, la cual es de suma importancia para la industria durante el procesamiento de alimentos. En productos manufacturados, los “elementos estructurales” pueden ser el resultado de interacciones físicas y/o químicas que tienen lugar entre una o más clases de ingredientes presentes en el sistema alimenticio. Estas interacciones pueden reflejarse en cambios de sus propiedades reológicas (Lewis, 1993).

Idealmente desde el punto de vista reológico, un material puede encontrarse en cualquiera de estas dos formas: elástico y/o viscoso. Los límites ideales son el sólido perfecto de Hooke y el fluido ideal de Newton, ambos prácticamente inexistentes en la naturaleza, pero de gran interés para el desarrollo teórico de la reología. Así pues, los parámetros reológicos fundamentales son elasticidad y viscosidad. Los productos alimenticios raramente exhiben estos comportamientos de manera ideal. En consecuencia, la reología como toda ciencia, exige el conocimiento de un cierto “lenguaje” o terminología al igual que una simbología propia del campo. Sin esto, es complicado lograr un cabal entendimiento de los fenómenos que trata de describir y estudiar. Desafortunadamente, muchos fluidos no son newtonianos, es decir, hay una relación no lineal entre la fuerza de cizalla y el gradiente de cizalla, tales fluidos se denominan no newtonianos. Ejemplos de fluidos no newtonianos son las soluciones concentradas de macromoléculas (almidones, proteínas y gomas), y

materiales coloidales tales como emulsiones, pastas y suspensiones (Lewis, 1993).

Cuando se aplica una fuerza de corte o cizalla a un fluido, ésta origina una deformación; esta deformación se denomina flujo. Si una fuerza cizallante F se aplica sobre un área A de la superficie de un fluido en contacto con un plano estacionario, entonces la capa superior del fluido se desplazará con una velocidad v mientras la capa en contacto con el plano quedará estacionaria (figura 10). La capa superior a su vez arrastrará a la capa subyacente con una velocidad ligeramente reducida y esta a su vez arrastrará a la capa subsiguiente. En consecuencia se establece un gradiente de velocidad dentro del fluido, el valor del gradiente de velocidad dependerá de la viscosidad del fluido, es decir la resistencia que oponga el material a fluir (Lewis, 1993).

3.4.1 Flujo viscoso ideal

Un fluido viscoso ideal es aquel que sujeto a un esfuerzo de cizalla (esfuerzo de corte), continúa deformándose o fluyendo en tanto el esfuerzo sea aplicado. Para estos materiales no existe la recuperación a su estado original (componente elástico) cuando el esfuerzo es removido. Algunas de las primeras observaciones acerca de la reología del agua son atribuidas a Sir Isaac Newton (1642-1727), quien escribió que “la resistencia surge por la falta de deslizamiento de un líquido, al igual que en otras cosas, es proporcional a la velocidad con la cual las partes de un líquido son separadas unas de otras”. Así, el agua, los aceites vegetales y las soluciones diluidas como las bebidas, que fluyen de manera similar, se dice que son fluidos newtonianos (Tung y Paulson, 1995). El movimiento del fluido descrito por Newton es conocido como flujo laminar. Este flujo puede ser visualizado por un modelo en el cual delgados planos paralelos del

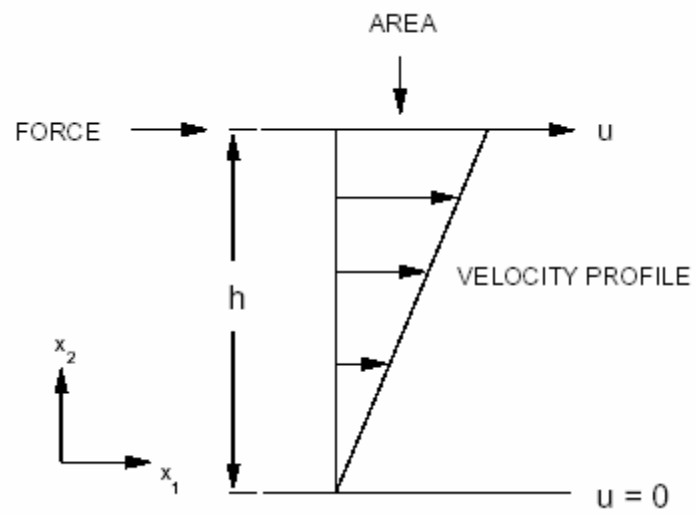


Figura 10. Perfil de velocidad entre platos paralelos (Steffe, 1996)

fluido se deslizan unos sobre otros en respuesta a una fuerza cortante aplicada en la dirección del flujo. Existe un gradiente lineal de velocidad, (dv/dy) , a través del fluido en el espacio entre la velocidad cero en la superficie estacionaria, y la velocidad máxima, V_{max} , en la superficie móvil. La rapidez con que se mueve este líquido varía de acuerdo a su distancia del plano superior, la velocidad máxima ocurre en la capa adyacente al plano superior y es cero en la capa adyacente al plano inferior (Lewis y col., 1987).

Así pues, un fluido newtoniano se define como aquel en el cual la representación del esfuerzo de cizalla en función de la velocidad de cizalla es lineal. La constante de proporcionalidad se denomina coeficiente de viscosidad (Bird y col., 1977). Este tipo de flujo viene descrito por la ecuación 1:

$$\tau_{|_{xy}} = \mu \left(\frac{dv_{|x}}{dy} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Sin embargo, el comportamiento de flujo de la mayoría de los alimentos no puede ser caracterizado con una viscosidad constante. A los materiales que muestran una desviación del comportamiento de flujo newtoniano se les conoce generalmente como fluidos no newtonianos (Barnes y col., 1989).

3.4.2. Comportamiento reológico no ideal

Los alimentos son sistemas complejos, altamente estructurados que contienen polímeros de alto peso molecular, partículas cargadas, inclusiones multifases e interacciones entre los componentes. En flujo no newtoniano, la viscosidad varía con cambios en la velocidad de cizallamiento, es decir, el esfuerzo cizalla y la velocidad de cizalla, no están relacionados linealmente. La

viscosidad de estos fluidos puede depender de la velocidad y la duración del cizallamiento. Por otra parte, algunos materiales parecen ser parcialmente viscosos y parcialmente elásticos. Estos son conocidos como materiales viscoelásticos. Estas sustancias no siguen el modelo de Newton (figura 11) y en general son clasificadas como no newtonianos (Bird y col., 1977; Barnes y col., 1989).

Este tipo de fluidos se clasifican principalmente atendiendo el comportamiento de esfuerzo de corte respecto a la velocidad de deformación, en: dependientes e independientes del tiempo. El comportamiento independiente del tiempo aparece siempre que la viscosidad aparente (es igual a la fuerza de cizalla dividida entre el gradiente de cizalla) es independiente de un proceso de cizallamiento previo (es decir, como ha sido tratado un fluido), mientras que un fluido dependiente del tiempo es aquel cuya viscosidad aparente depende del proceso previo de cizallamiento.

Fluidos independientes del tiempo

La resistencia al flujo, en cualquier posición dentro del fluido, es sólo dependiente de la velocidad de cizalla o del esfuerzo de cizalla en ese punto. Dentro de los cuales destacan los siguientes ejemplos:

1. Fluidos de adelgazamiento a la cizalla (Pseudoplásticos). A este tipo de fluidos corresponden la mayoría de los fluidos no newtonianos, tales como: gomas, mucílagos, emulsiones, dispersiones, etc., los cuales experimentan una disminución de la viscosidad al aumentar el esfuerzo cortante (Bird, y col., 1977, Barnes y col., 1989).

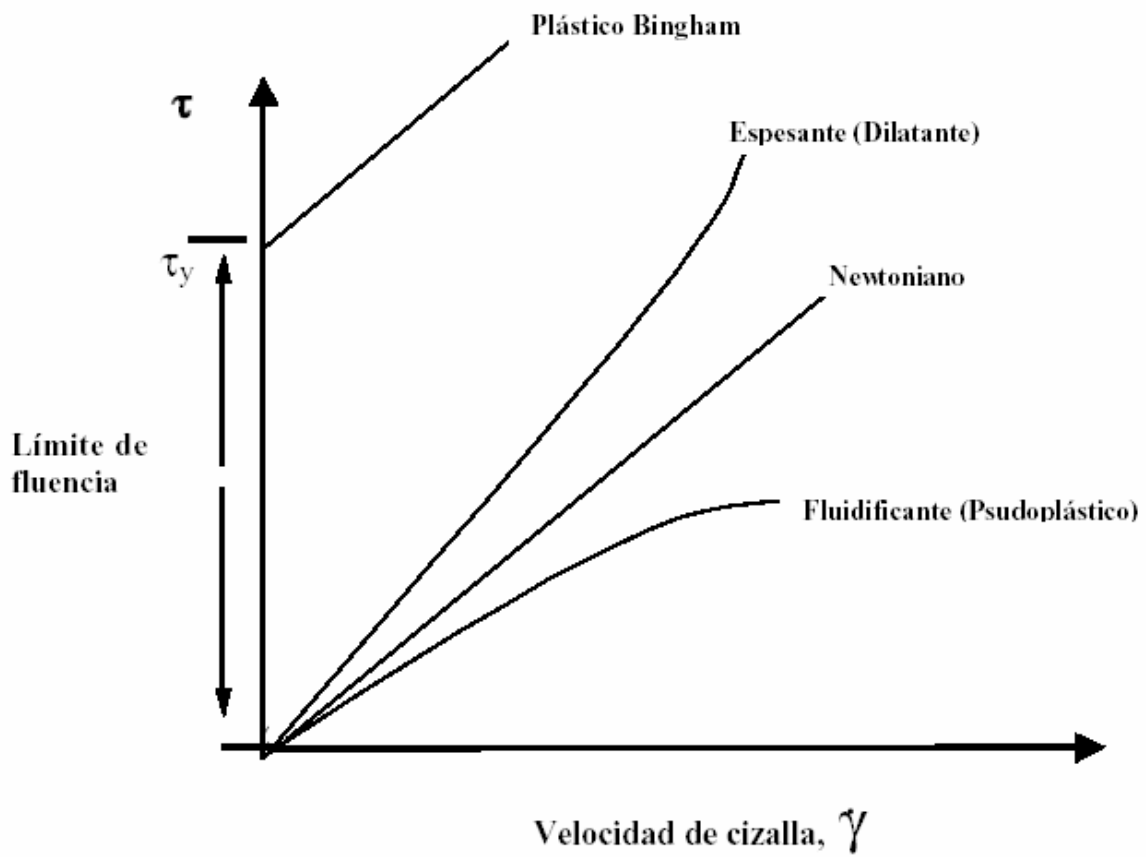


Figura 11. Comportamiento reológico de diversos materiales (esfuerzo de cizalla en función de la velocidad de cizalla) (Bird et al., 1977).

2. Fluidos reoespesantes (Dilatantes). Es un fenómeno de espesamiento independiente del tiempo que se da al aumentar la velocidad de corte. Se trata del fenómeno opuesto al de adelgazamiento a la cizalla (pseudoplasticidad). La gráfica no es lineal, pero los valores de esfuerzo y velocidad de cizallamiento están directamente relacionados (Barnes y col., 1989). Algunas soluciones reoespesantes (dilatantes) son las harinas de maíz y soluciones que contenga concentraciones elevadas de polvos en agua (por ejemplo, concentraciones altas de caolin (>50% P/P con pectinas). El fenómeno de reoespesamiento también es el resultado de factores, como: la concentración y la variación en la forma de los materiales representan un papel crítico en esta conducta. La dilatancia puede ser visualizada como partículas de diferente tamaño y formas encerradas, acomodadas y empacadas herméticamente, de tal manera que el flujo comienza a ser más difícil cuando la presión incrementa. Con el incremento de la velocidad de cizalla, las grandes partículas flexibles llegan a elongarse, gradualmente incrementando el radio axial de las partículas, contribuyendo así a originarse el fenómeno de la dilatancia (Bird, 1977; Steffe, 1992).

3.5. Análisis Sensorial.

La evaluación sensorial es el análisis de alimentos u otros materiales por medio de los sentidos y es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos químicos, físicos, microbiológicos, etc. (Anzaldúa-Morales, 1994).

Se habla de tres grandes grupos: el descriptivo, el discriminativo y el del consumidor o pruebas afectivas. También existen métodos rápidos de control de calidad como los que se utilizan en las líneas de producción, por ejemplo: un atlas de color. En seguida se describen estos tres grupos (Barda, 2006):

1- Análisis descriptivo. Consiste en la descripción de las propiedades sensoriales (parte cualitativa) y su medición (parte cuantitativa). Es el más completo. Para la primera etapa se trata de ver a qué recuerda y cómo se describe

cada olor, sabor, color o textura. A medida que transcurre el entrenamiento, la persona reconoce ese olor e inmediatamente lo describe. Es decir, se agiliza el proceso mental 'estímulo-respuesta'. En esa fase se comienza a trabajar con el producto que será objeto de la evaluación, y se desarrolla un vocabulario de ocho a quince palabras para describirlo. En tanto, la segunda parte está basada en aprender a medir la intensidad de ese olor, sabor, color o textura en una escala. Se utilizan pruebas de perfil del sabor y perfil de textura.

2- Análisis discriminativo. Es utilizado para comprobar si hay diferencias entre productos y la consulta al panel es cuánto difiere de un control o producto típico, pero no sus propiedades o atributos. Para este se utilizan las pruebas dúo-trío, triangulares y A, no A.

3- Análisis del consumidor o pruebas afectivas. Las pruebas afectivas son aquellas en las cuales el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto alimenticio, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza, o si lo prefiere ante otro. Estas pruebas se clasifican en tres tipos: pruebas de preferencia, pruebas de grado de satisfacción y pruebas de aceptación.

Las pruebas hedónicas se utilizan para evaluar la aceptación o rechazo de un producto determinado y aunque su realización pueda parecer rutinaria, el planteamiento es muy complejo y debe hacerse con rigor para obtener datos significativos. Suelen responder a requerimientos de mercado y normalmente pretenden apreciar tendencias de consumo: se quiere saber si un determinado producto es el idóneo para el consumo en un grupo de población, si es competitivo con otros ya existentes o si alguna de sus características llega a producir fatiga tras un cierto consumo. Otras veces se trata de modificaciones en la formulación o

envasado y lo que se pretende es evaluar la aceptación entre los consumidores ya habituales (Cepeda y col., 2002).

Los catadores para éste tipo de pruebas deben ser consumidores (catadores inexpertos) que pueden ser elegidos al azar o bien seleccionados por aspectos concretos: edad, sexo, capacidad económica, hábitos sociales o de consumo, etc. (Anzaldúa-Morales, 1994).

3. 6. Planteamiento del problema

En base a todo lo anteriormente expuesto y a solicitud expresa de los dueños de la Industria Heinze Alimentaria S.A. de C.V. (Pachuca de soto, Hgo), se plantea la elaboración de un sustituto de crema pastelera tipo Viena. Ellos nos proporcionaron una formulación base que contenía los siguientes ingredientes iniciales: Agua, margarina, Tween 60, alginato de sodio, dextrosa, sorbato de potasio, ácido fosfórico, sacarosa, bióxido de titanio, amarillo #5, jarabe de maíz, almidón modificado, saborizante. De acuerdo a sus indicaciones nosotros podíamos eliminar o agregar nuevos componentes a la formulación siempre y cuando fueran proporcionados por ellos mismos. Motivo por el cual se omiten marcas, cantidades y algunos resultados de la formulación final, así como la fórmula seleccionada.

4. OBJETIVOS.

4.1 Objetivo general

Elaborar un sustituto de crema pastelera, que no presente separación de fases y que tenga una vida de anaquel similar o mayor que la que presenta la crema pastelera comercial de importación.

4.2 Objetivos específicos

Elaborar una emulsión y con esto un sustituto de crema pastelera para:

- Estudiar el efecto de los ingredientes de la emulsión sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera empleando un diseño factorial 3^3 .
- Estudiar el efecto de la relación azúcares simples y complejos sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera empleando un diseño factorial 3^4 .
- Estudiar el efecto de la relación de grasa / almidón sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera empleando un diseño factorial 2^3 .
- Estudiar el efecto de la relación almidón, grasa y humectante sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera empleando diseños factoriales mixtos.
- Evaluar la aceptación con pruebas afectivas y la vida de anaquel acelerada (40 °C), mediante la separación de fases de la fórmula del sustituto de crema pastelera seleccionada finalmente.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1. Materia prima

Agua, margarina (FEITE), emulsificante Tween 60, ácido fosfórico al 98%, sorbato de potasio, alginato, dextrosa, colorante amarillo no. 5, sacarosa, bióxido de titanio, jarabe de maíz, almidón modificado, saborizante DOS al 15% (TECNO PRO SABOR CREMA VIENESA AMX-44473) y glicerol (humectante).

5.2. Equipos y material de laboratorio

Homogenizador de partículas (ARDE BARINCO INC), horno de microondas (SAMUNG MW1235WB), microjeringa, balanza analítica (Explorer OHAUS Corporation), termómetro, vasos de plástico para muestreo, espátulas, vidrios de reloj, recipientes de plástico, cronómetro, ollas de acero inoxidable, palas de plástico, estufa de gas (Flamineta), frascos de vidrio de cierre hermético, reómetro (Haake, Germany, modelo CV-20N) y estufa eléctrica (Imperial V Laboratory oven marca Barnstead Lab-line).

5.3. Diseño y análisis de experimentos

De acuerdo a los objetivos específicos planteados se propuso llevar a cabo el desarrollo del trabajo experimental en las siguientes etapas, las cuales se describen en las secciones posteriores, tomando en cuenta que los resultados obtenidos en cada etapa se utilizaron como punto de partida para la etapa siguiente.

5.3.1 Primera etapa: Efecto de los ingredientes de la emulsión sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera

Se elaboró la emulsión con los siguientes componentes: alginato de sodio, dextrosa, sorbato de potasio, margarina, emulsificante, ácido fosfórico y agua.

Esta etapa se plateó como punto de partida para determinar lo que hacia inestable a la emulsión que los industriales preparaban con su formulación original, se tomaron como los factores más importantes la cantidad de agua, de margarina y de emulsificante en la mezcla. En las tablas 4 ,5 y 6 se muestran, el diseño experimental y los niveles en que se variaron los factores. Cabe señalar que el diseño factorial se aplicó completamente aleatorizado y por duplicado:

Tabla 4. Niveles de los factores a variar, primera etapa

Factor	Cantidad		
	Agua	1000 g	1166 g
Margarina	400 g	466 g	333.33 g
Emulsificante	7g	2.33 g	4.66 g

Tabla 5. Diseño factorial primera etapa

Factor	Niveles		
	Agua	-1	0
Margarina	0	1	-1
Emulsificante	1	-1	0

Una vez preparada la emulsión se determino la separación de fases de acuerdo a lo descrito en la sección 5.4.2. Adicionalmente con estas emulsiones se preparo también el sustituto de crema correspondiente de acuerdo a lo descrito en la sección 5.4.1.2. En los sustitutos de crema pastelera obtenidos se evaluó la separación de fases de manera visual (Sección 5.4.2). Las muestras que presentaron la menor separación de fases en el sustituto de crema pastelera fueron las que se seleccionaron para continuar con el siguiente experimento.

Tabla 6. Tabla experimental primera etapa

Tratamiento	Agua	Margarina	Emulsificante
1	0	-1	-1
2	0	-1	0
3	0	-1	1
4	0	0	-1
5	0	0	0
6	0	0	1
7	1	-1	-1
8	1	-1	0
9	1	-1	1
10	1	0	-1
11	1	0	0
12	1	0	1

5.3.2. Segunda etapa: Efecto de la relación azúcares simples y complejos sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera

Se elaboró un nuevo diseño experimental donde se varió la concentración de los azúcares simples (Jarabe de maíz invertido y sacarosa) y complejos (almidón), para evaluar su efecto sobre la estabilidad de fases en el sustituto de crema pastelera ya que estos interferían en la estabilidad del producto final. Las concentraciones iniciales de cada uno de ellos fue: 50 g sacarosa, 70 g de jarabe de maíz y 44 g de almidón, estas cantidades fueron definidas por los industriales en su formulación inicial.

Para facilitar éste análisis se manejó como dulzor al conjunto de azúcares simples: sacarosa y jarabe de maíz, los cuales sumaban 120 g en total, dando una relación entre ellos de 1:1.4. La relación manejada inicialmente entre el almidón y

el dulzor fue de 1:2.7. Una vez identificados los factores y las cantidades de cada uno de ellos se procedió a elaborar el diseño experimental. El planteamiento de este experimento se hizo en base a la concentración de almidón y su relación con el dulzor (Tabla 7).

Tabla 7. Relación de almidón-dulzor

Factor	Relación			
Almidón	1.1	1.2	1.3	1.4
Dulzor	2.99	3.26	3.54	3.81

Para obtener el peso de sacarosa y jarabe de maíz de cada relación planteada en la Tabla 7 se multiplicó la masa inicial por el factor correspondiente al incremento de la concentración de almidón (Tabla 8). Adicionalmente, el factor dulzor se subdividió en tres niveles: en el primer nivel se mantuvo constante la concentración de jarabe de maíz, en el segundo se mantuvo constante el contenido de sacarosa y en el último se variaron las concentraciones de ambos azúcares.

Tabla 8. Cantidades de dulzor en g

Dulzor	2.99	3.26	3.54	3.81
G de azúcares	132	144	156	168

La Tabla 9 muestra los gramos de azúcar y de jarabe de maíz en los 3 niveles de concentración antes mencionados correspondientes al dulzor, cada par sumados debe pesar en total los gramos de azúcares mencionados en la Tabla 8:

Tabla 9. Cantidades de azúcares simples en g

Almidón	48.4	52.8	57.2	61.6
Sacarosa	62	74	86	98
Jarabe constante	70	70	70	70
Sacarosa constante	50	50	50	50
Jarabe	82	94	106	118
Sacarosa	56	62	68	74
Jarabe	76	82	88	94

La tabla 10 muestra la representación del diseño experimental expresado con $n = 1, 2, 3, 4$ y $N = i, j, k, l$, dando por resultado 48 experimentos

Tabla 10. Diseño experimental segunda etapa

Factor	Tratamientos			
Almidón	1i	2j	3k	4l
Azúcar Jarabe cte.	2i	3j	4k	1l
Azúcar cte. Jarabe	3i	4j	1k	2l
Azúcar Jarabe	4i	1j	2k	3l

En las muestras obtenidas en este diseño se evaluó la estabilidad de manera visual en función del tiempo, todas las muestras se almacenaron a temperatura ambiente y se mantuvieron en observación durante 3 días registrando los cambios como: presencia de separación de fases y presencia de

microorganismos (levaduras y mohos) cada 24 h. Trascurrido el tiempo de observación, las muestras presentaban sinéresis además de una consistencia pastosa; con excepción de las muestras 10, 11 y 12, que contenían la cantidad más baja de almidón y la más alta de azúcares, pero estas muestras en un lapso de 5 días presentaron una pequeña separación de fases, motivo por el cual se propuso un tercer experimento.

5.3.3 Tercera etapa: Efecto de la relación de grasa / almidón sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera

En éste diseño experimental se varió la concentración de almidón y grasa, manteniendo la concentración de azúcares constante, de acuerdo a los resultados obtenidos de la etapa anterior. Estas muestras fueron las siguientes: la muestra 10 la cual tenía 48.4 g de almidón, 98 g de azúcar y 70 g jarabe de maíz; la muestra 11 la cual tenía 48.4 g de almidón, 50 g azúcar y 118 g de jarabe de maíz; y la muestra 12 que tenía 48.4 g de almidón, 74 g de azúcar y 94 g de jarabe de maíz. Las concentraciones de grasa y almidón se muestran en la Tabla 11. Además en este experimento se eliminó por completo el alginato de sodio, una goma que se encarga de la absorción de agua y se utiliza comúnmente como espesante, ya que se consideró que este componente era el causante de la separación de fases de la crema pastelera. La Tabla 12 muestra el diseño factorial expresado en números binarios, resultando el número negativo la concentración menor y el positivo la concentración mayor. En la Tabla 13 se enlistan los tratamientos evaluados dentro de esta etapa

Tabla 11. Factores a variar tercera etapa

Factor	Concentraciones %		
Grasa	35	40	45
Almidón	4.4	4.95	5.5

Tabla 12. Diseño factorial tercera etapa

Factor	Niveles		
Grasa	-1	0	1
Almidón	0	1	-1

Tabla 13: Tratamientos de la tercera etapa

Tratamiento	Grasa	Almidón
10	-1	-1
11	-1	-1
12	-1	-1
10	0	-1
11	0	-1
12	0	-1
10	1	-1
11	1	-1
12	1	-1
10	0	1
11	0	1
12	0	1
10	-1	1
11	-1	1
12	-1	1
10	1	1
11	1	1
12	1	1
10	-1	0
11	-1	0
12	-1	0

10	0	0
11	0	0
12	0	0
10	1	0
11	1	0
12	1	0

Al analizar visualmente las muestras en un periodo de 3 días se observó que existía en la superficie de la crema pastelera un endurecimiento y cierta resequedad de la misma, por lo que se decidió adicionar a los ingredientes un humectante, esta adición se realizó en la muestra que presentó menos resequedad y endurecimiento, la cual fue la muestra numero 12. En el siguiente capítulo se describe el diseño experimental.

5.3.4 Cuarta etapa: Efecto de la relación almidón, grasa y humectante en el sustituto de crema pastelera

Se realizó una serie de muestras en las cuales se varió la concentración de grasas y de humectante que se muestran en la Tabla 14 y así poder obtener una mejor textura y mayor estabilidad. Para estos tratamientos se tomó como referencia la concentración de azúcares de la muestra más estable de la etapa anterior. La Tabla 15 muestra el diseño factorial expresada en números binarios, resultando el número negativo la concentración menor, y el positivo la concentración mayor. Los experimentos resultantes de este diseño se muestran en la Tabla 16.

Tabla 14. Factores a variar en el primer diseño de la cuarta etapa

Factor	Concentraciones (%)				
Grasa	15	20	25	30	35
Almidón	4.1	4.4			
Humectante	1	2			

Tabla 15. Diseño factorial de la cuarta etapa

Factor	Niveles				
Grasa	-2	-1	0	1	2
Almidón	-1	1			
Humectante	-1	1			

Tabla 16: Tabla experimental correspondiente al primer diseño de la cuarta etapa

Tratamiento	Grasa	Almidón	Humectante
1	0	-1	1
2	1	-1	-1
3	0	1	-1
4	-1	1	1
5	-1	-1	1
6	-2	-1	1
7	0	1	1
8	1	1	-1
9	0	-1	-1
10	-2	-1	-1
11	-2	1	-1
12	-2	1	1
13	-1	-1	-1

14	-1	1	-1
15	1	-1	1
16	1	1	1
17	2	-1	-1
18	2	-1	1
19	2	1	-1
20	2	1	1

Debido a que las concentraciones del humectante fueron altas la consistencia del sustituto de crema pastelera no fue el adecuado ya que tenía mucha fluidez. Por lo tanto se procedió a realizar otro diseño experimental en el cual se manejaron concentraciones de humectante del 0.5% y 1%. Para este análisis se utilizaron las concentraciones mostradas en la tabla 17.

Tabla 17. Factores a variar en el segundo diseño de la cuarta etapa

Factor	Concentraciones (%)	
Grasa	25	
Almidón	4.1	
Humectante	0.5	1

5.4. Métodos

5.4.1. Elaboración del sustituto de crema pastelera

Para la elaboración del sustituto de crema pastelera primero se elaboró la mezcla primaria (emulsión) y enseguida el sustituto de crema pastelera.

5.4.1.1. Elaboración de la emulsión

- Se colocó la margarina en un recipiente y se calentó hasta fundirla completamente (28-30 °C). Enseguida se le adicionó el emulsificante y el ácido fosfórico. En otro recipiente se calentó agua y después se le adicionó poco a poco la mezcla de margarina con emulsificante y ácido fosfórico, mientras se homogeneizaba mecánicamente empleando un homogenizador de partículas, a 4000 r.p.m en el modo UP (dirección en la cual el eje rota en sentido de las manecillas del reloj), que es cuando se incorporan los ingredientes, por un tiempo de 4 min. Transcurrido el tiempo se le adicionó el antimicrobiano (sorbato de potasio) sin parar el proceso de homogenización e incrementando la velocidad a 5000 r.p.m. por un periodo de 4 min, terminado el tiempo se detuvo el homogenizador y se puso en modo DOWN (dirección en la cual el eje rota en sentido contrario a las manecillas del reloj). Se pone en esta dirección para extraer el aire incorporado en la mezcla de ingredientes a una velocidad de 3600 r.p.m. por un tiempo de 5 minutos. Finalmente se le adicionó lentamente la mezcla de alginato con dextrosa.

5.4.1.2. Elaboración del sustituto de crema pastelera

- Una vez obtenida la emulsión se elaboró el sustituto de crema pastelera, para ello se pesó una porción de la mezcla primaria (emulsión) en un recipiente de acero inoxidable y se colocó a fuego lento, enseguida se le incorporaron los ingredientes restantes entre ellos: el colorante, dextrosa, sacarosa, bióxido de titanio, jarabe de maíz, almidón modificado, saborizante. Esta mezcla se batió constantemente hasta llegar al punto de cocción, este proceso se llevo a cabo en un tiempo de 20 min. Para saber con certeza el punto idóneo de la crema pastelera: se toma la crema pastelera con una pala y seguidamente se hace una

línea horizontal en el centro de la pala con el dedo, y si se logra que se consigan separar las dos partes en la pala quedando bien marcada la línea, entonces podremos decir que tenemos la crema en su punto. Una vez obtenida esta condición se retiró del fuego y se envasó en recipientes herméticos de vidrio.

5.4.2. Prueba de estabilidad de la emulsión y del sustituto de crema pastelera.

Para la emulsión (O/W), la prueba consistió en colocar una alícuota (50 mL) de la misma por duplicado, en vasos de plástico. Estas muestras se dejaron en reposo, por un lapso de 1 h a temperatura ambiente, a fin de observar la separación de fases. En caso de existir una separación de fases, se midió la altura de la fase inferior (acuosa) para determinar la estabilidad visual de la emulsión con respecto al tiempo.

En el caso del sustituto de crema pastelera (W/O), la prueba de estabilidad consistió en dejar las muestras envasadas en recipientes herméticos de vidrio transparentes, en reposo absoluto y a temperatura ambiente, en función del tiempo. Después de tres días de que la crema fue elaborada, se observó si existía separación de fases y se midió la fase acuosa (superior).

5.4.3. Prueba visual microbiológica

Para ello se realizó únicamente una prueba visual que consistía en evaluar la aparición de microorganismos (hongos y levaduras) en la superficie de las muestras elaboradas.

5.4.4. Reología de cizalla simple

Las pruebas reológicas de cizalla simple se efectuaron en un Reómetro Haake, Germany, modelo CV-20N con un torque máximo de 0.01 Nm. y un sistema de control de temperatura (Haake). La geometría de cono y plato (PK20/4, diámetro =19.57 mm, y un ángulo de 4°) se empleó en la caracterización reométrica de la crema pastelera. En las curvas de flujo de cizalla simple, la velocidad de cizalla ($\dot{\gamma}$) fue de 10 a 100 s⁻¹. Todas las pruebas se realizaron al menos por duplicado. Las pruebas se realizaron a una temperatura de 25 °C.

5.4.5. Reología de cizalla oscilatorio

Para este estudio reológico se utilizó un reómetro rotacional usando una geometría de placas paralelas (PQ 20, diámetro=19.57 mm, Dh=2.0mm). Se colocó la muestra entre las placas con una altura de 1 mm. La región de viscoelasticidad lineal, se fijó en una zona de deformación inferior al 5 %. El barrido de deformación se efectuó a una frecuencia fija ($\omega = 1$ Hz). Previo a la colocación de la muestra, éstas se atemperaron a 25 °C al menos durante 20 minutos. Todas las pruebas se realizaron por duplicado.

Finalmente, se cuantificaron las propiedades viscoelásticas mediante barridos de frecuencia (G' , G'' , almacenamiento de energía y pérdida de energía respectivamente). Las condiciones de deformación empleadas para cada muestra, se reportan en cada uno de los gráficos (módulos dinámicos vs frecuencia).

5.4.6. Análisis sensorial

Se elaboró una muestra del sustituto de crema pastelera final el cual se presentó en una exposición realizada en el módulo de comercio exterior de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

El sustituto de crema pastelera se presentó en galletas y en pan. El pan se mando hacer a una panadería y se relleno con la muestra. Además se prepararon otras galletas y panes con la crema pastelera de importación para poder realizar una prueba de aceptación a 50 personas del público dándoles a probar las muestras preparadas y al mismo tiempo preguntándoles cual les parecía mejor y/o cual comprarían.

5.4.7. Vida de anaquel

Se elaboró una muestra del sustituto de crema pastelera final de acuerdo al procedimiento mencionado en la sección 5.3.1 y se colocó en un recipiente de vidrio de 500 gr cerrado herméticamente. Esta muestra se sometió a una temperatura de 40°C en una estufa revisando cada 48 hr su estabiidad de manera visual, una vez que la separación de fases era observada se daba por terminado el análisis.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. Primera etapa: Efecto de los ingredientes de la emulsión sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera

En la tabla 18 se muestran los resultados de la separación de fases observados en las emulsiones preparadas, las muestras en donde se obtuvo la menor separación de fases (tratamientos 9 y 12) corresponden a los tratamientos donde se usaron los niveles altos de emulsificante, de agua y los niveles intermedio y bajo de grasa (Sección 5.3.1), lo cual explica porque estas emulsiones fueron las más estables y corresponde a lo reportado en la literatura (Lewis, 1993) ya que el emulsificante Tween 60 es más efectivo para estabilizar emulsiones o/w tal como es el caso. En las figuras 12 y 13 se muestra un ejemplo del aspecto de una emulsión estable e inestable.

Tabla 18. Estabilidad de emulsiones¹

Tratamiento	Altura
1	4.26 ± 0.155
2	2.08 ± 0.007
3	2.25 ± 0.008
4	3.91 ± 0.099
5	2.52 ± 0.004
6	2.28 ± 0.007
7	3.01 ± 0.184
8	3.75 ± 0.148
9	1.37 ± 0.032
10	2.85 ± 0.064
11	2.51 ± 0.018
12	1.84 ± 0.007

1 Media más menos desviación estándar.

2 Temperatura de la muestra 34.5°C ± 0.5

Emulsiones



Figura 12
Emulsión estable



Figura 13
Emulsión inestable

Una vez analizada la estabilidad de las emulsiones se elaboraron los sustitutos de crema pastelera empleando estas emulsiones y la misma concentración de todos los demás componentes, de acuerdo a lo planteado en la sección 5.4.1.2. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Estabilidad de los sustitutos de crema pastelera

Tratamiento	Altura en cm
1	1.02
2	2
3	0.9
4	1.1
5	2.4
6	0.6
7	3
8	2.8
9	2.3
10	1.6
11	3.2
12	3.4

En función de los resultados de la evaluación visual de las cremas elaboradas (tabla 19), con estas emulsiones, se seleccionaron las muestras correspondientes a los tratamientos 1, 3, 4 y 6, ya que estas muestras fueron las que presentaron el menor grado de separación de fases en los sustitutos de crema pastelera, en estas muestras se midieron sus propiedades de flujo de cizalla simple y oscilatoria y se compararon con las mismas propiedades de una muestra

comercial de importación. En la Figura 14, se presenta el comportamiento de flujo de cizalla simple de la crema comercial de importación y del sustituto de crema preparado con el tratamiento número 6. En esta figura se observa como varia la viscosidad en función del esfuerzo de corte aplicado, lo cual nos indica que estas dos muestras analizadas tienen un comportamiento de flujo no newtoniano, ya que la viscosidad no es independiente del esfuerzo, adicionalmente podemos deducir de esta misma figura que las dos muestras presentan un comportamiento pseudoplástico, lo cual esta de acuerdo con lo reportado por Bird y col. (1977) tal como se observa en la Figura 11 de la sección 3.4.2, ya que en esta figura se observa como la pendiente de la curva que esta por debajo de la curva que representa a un fluido newtoniano, disminuye de manera muy parecida a como disminuyen las pendientes de las curvas de flujo de cizalla simple de la muestra comercial y de la muestra No. 6. En los anexos se puede ver el comportamiento oscilatorio de las muestras 1, 3 y 4. En las figuras 15 y 16 se muestra el comportamiento de flujo de cizalla oscilatorio de las mismas muestras, en estas figuras se observa que ambas muestras tienen un comportamiento de flujo viscoelástico. Adicionalmente, con los resultados obtenidos del estudio de flujo de cizalla oscilatorio observamos que el sustituto de crema pastelera se comporta como un fluido viscoelástico de carácter mayoritario de sólido en ambas muestras (comercial y muestra No. 6) (Steffe,1996), ya que el valor de G' fue mayor en ambos casos, adicionalmente la viscosidad dinámica (n) se comporta de manera similar y tiene valores estadísticamente iguales en ambas muestras. De acuerdo a estos resultados se seleccionó la muestra número 6 para continuar con el siguiente experimento, aunque cabe señalar que esta muestra seleccionada aun presentaba una ligera separación de fases. En el nuevo diseño experimental plateado se varió la concentración de los factores que a nuestro juicio interferían en la estabilidad del producto final, los cuales fueron la concentración y tipo de azúcares presentes en la formulación (azúcares simples y complejos), tomando como punto de partida la composición presente en la muestra número 6.

Cabe señalar que la muestra seleccionada corresponde a uno de los tratamientos donde se empleó también el nivel más alto de emulsificante y los niveles intermedios de agua y margarina. Retomando el punto de que la emulsión obtenida inicialmente era del tipo O/W, debemos de indicar que el sistema disperso obtenido al final como sustituto de crema pastelera era un sistema W/O, esto debido al proceso de cocción, que se llevó a cabo a temperaturas superiores a 100°C, motivo por el cual se evaporó gran parte del agua, invirtiendo de esta manera las concentraciones de agua y margarina presentes en el producto final, cambiando así el tipo de sistema disperso de O/W a W/O, este resultado se explica de la siguiente manera, en la literatura (Lewis 1993), se dice que este emulsificante es uno de los más apropiados para estabilizar los sistemas dispersos O/W por su valor HLB (Dominic, 1995), pero como se mencionó anteriormente el sustituto de crema pastelera es un sistema disperso del tipo W/O, pero este mismo emulsificante presenta una temperatura de inversión de 40°C (Dominic, 1995), esto quiere decir que cuando el sistema disperso donde esté presente el emulsificante Tween 60 pase de esta temperatura su funcionalidad cambia, es decir, se vuelve más adecuado para estabilizar sistemas W/O, ya que esta temperatura es inferior a la temperatura empleada para la preparación del los sustitutos de crema pastelera en este diseño), motivo por el cual se puede establecer que la estabilidad observada en la muestra seleccionada en este diseño se explican por lo reportado en la literatura básica de este genero (Lewis, 1991., Dominic, 1995., Becher, 2001., Badui, 1993).

6.2. Segunda etapa: Efecto de la relación azúcares simples y complejos sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera

De los 48 experimentos que resultaron del diseño experimental de la sección 5.3.2 se evaluó la estabilidad visual de la crema pastelera contra el tiempo. Después de mantener las muestras en observación por 3 días a temperatura ambiente estas presentaban un proceso de deterioro, éste se

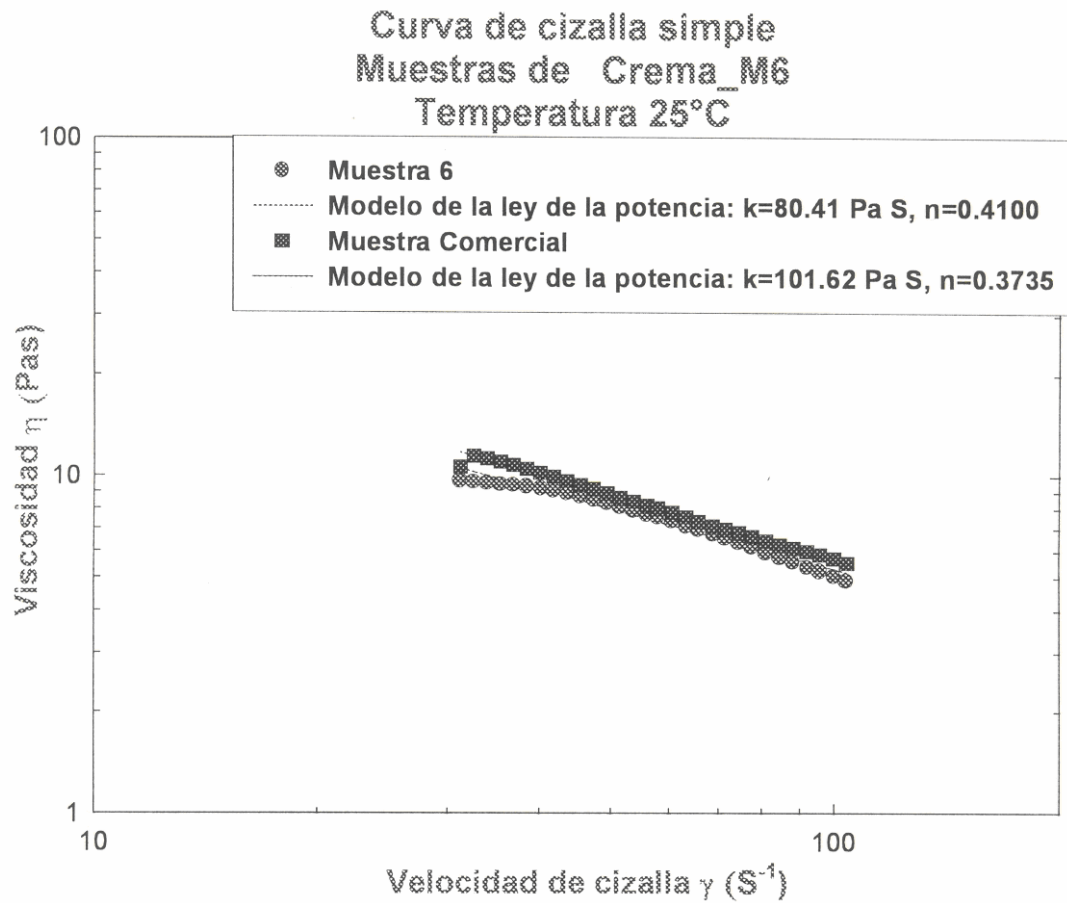


Figura 14. Curva de cizalla simple de la muestra comercial de importación y de la muestra preparada con el tratamiento número 6.

Sensor: Cono y plato PPTi
 Rheometro: Haake300

Espectros mecánicos dinámicos a 25 °C
Muestras de Crema: M-COMERCIAL

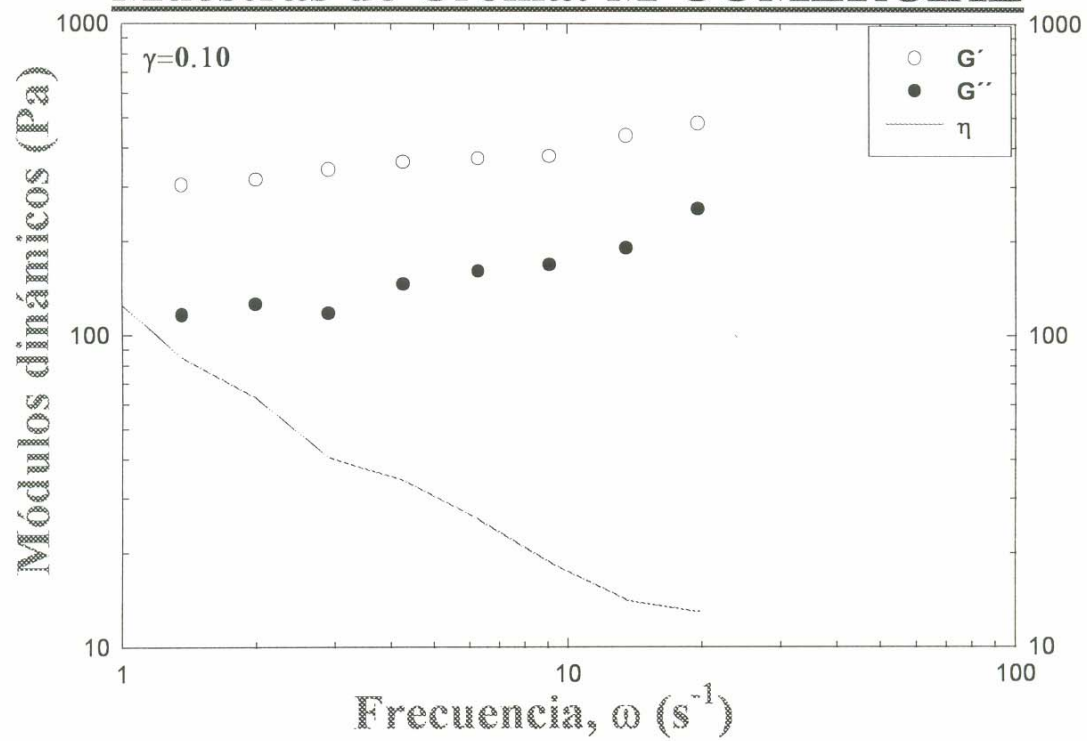


Figura 15. Módulos dinámicos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') y viscosidad dinámica (η) de la muestra comercial de importación.

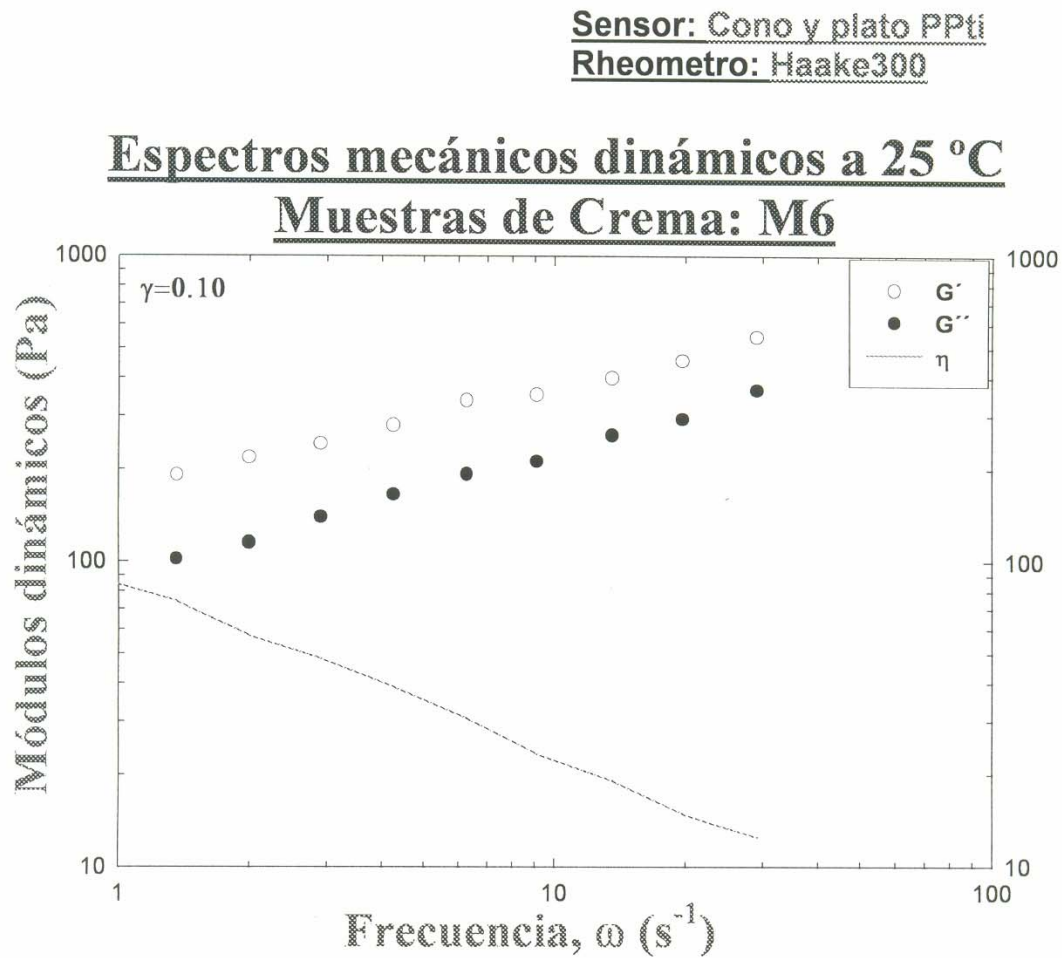


Figura 16. Módulos dinámicos de almacenamiento (G'), de pérdida (G'') y viscosidad dinámica (η) de la muestra número 6.

evidenció mediante una separación de fases en las muestras y en algunas de ellas se observó un crecimiento de microorganismos. Al realizar un análisis de todas las muestras respecto a cuál era la que presentaba la menor separación y cual tenía mejor aspecto en cuanto a textura se decidió por las muestras 10, 11 y 12. Las cuales tienen la menor cantidad de almidón y la mayor cantidad de dulzor, pero cada una de ellas se diferencia en la relación que había entre azúcares simples y complejos presentes en éstas muestras, ya descritas en la sección 5.3.2. Estas muestras eran las que más se acercaban a las características deseadas, pero debido a que aun existía una separación de fases, aunque de baja magnitud, se decidió realizar otro diseño experimental pero ahora involucrando también el contenido de grasa, además del contenido de almidón y azúcares, los resultados obtenidos de este experimento se describen en la siguiente sección.

Las muestras seleccionadas (10, 11 y 12), como ya se mencionó anteriormente fueron elaboradas con el nivel más bajo de almidón y con los niveles más altos de azúcares simples. En primer lugar se tiene que la textura de éstas muestras seleccionadas se diferencia de las otras muestras obtenidas en éste experimento, en función a la concentración de almidón modificado, ya que éste biopolímero tiene la función de formar redes estructuradas dentro del sistema, así, tenemos que a mayor concentración de éste en el sistema se obtendrán sustitutos de crema pastelera con una textura mas rígida (Tabla 20). En segundo lugar se explica la mayor concentración de azúcares en las muestras seleccionadas. Éste tipo de azúcares simples tienen la función en el sustituto de crema pastelera de controlar la actividad acuosa y la presión osmótica, lo que nos explica porque en estos sustitutos (muestras 10, 11 y 12) la separación de fases y el desarrollo de microorganismos fue menor en comparación a las demás muestras obtenidas en este experimento.

Tabla 20. Descripción de resultados

No de muestra	Separación de fases (cm.)	Desarrollo de microorganismos (Hongos y Levaduras)	*Textura
1	4.5	POSITIVO	2
2	3.4	POSITIVO	2
3	4.6	POSITIVO	3
4	3.7	POSITIVO	3
5	1.9	POSITIVO	2
6	4.2	POSITIVO	3
7	2	POSITIVO	2
8	1.5	POSITIVO	2
9	3.1	POSITIVO	1
10	0.7	NEGATIVO	1
11	0.8	NEGATIVO	1
12	0.6	NEGATIVO	1
13	4.1	POSITIVO	2
14	2.1	POSITIVO	1
15	2.3	POSITIVO	3
16	3.5	POSITIVO	3
17	3.6	POSITIVO	2
18	4	POSITIVO	3
19	2.8	POSITIVO	2
20	1.6	POSITIVO	3
21	2.9	POSITIVO	2
22	3.9	POSITIVO	3
23	3.4	POSITIVO	2
24	2.2	POSITIVO	3

25	3	POSITIVO	3
26	4.4	POSITIVO	2
27	3.5	POSITIVO	3
28	1.2	POSITIVO	2
29	2.7	POSITIVO	3
30	2.3	POSITIVO	3
31	1.1	POSITIVO	2
32	3.3	POSITIVO	3
33	1.5	POSITIVO	2
34	1	POSITIVO	3
35	3.6	POSITIVO	2
36	4.4	POSITIVO	3
37	3.1	POSITIVO	2
38	1.4	POSITIVO	3
39	1.3	POSITIVO	3
40	2.8	POSITIVO	2
41	3.5	POSITIVO	2
42	4.2	POSITIVO	2
43	3.2	POSITIVO	3
44	1.6	POSITIVO	2
45	1.8	POSITIVO	3
46	2.8	POSITIVO	3
47	3.9	POSITIVO	2
48	3.3	POSITIVO	3

*Textura: 1= suave, 2 = Poco Pastosa, 3 = Pastosa

6.3. Tercera etapa: Efecto de la relación de grasa / almidón sobre la separación de fases de un sustituto de crema pastelera

Como punto de partida del diseño experimental de esta etapa se tomaron como referencia las concentraciones correspondientes a las muestras de la etapa 2 (10, 11, 12). Con base en esto se varió la concentración de grasas y almidón; la concentración de azúcar se mantuvo constante de acuerdo a cada uno de los tratamientos a que se refiere. Las concentraciones de grasa analizadas fueron de 35, 40 y 45 % y las de almidón fueron de 4.4, 4.95 y 5.5%. Además de estas modificaciones en este experimento se eliminó por completo la presencia del alginato de sodio, una goma que tiene la propiedad de absorber agua y se utiliza comúnmente como espesante, esta decisión se tomó debido a que consideramos que este componente podría ser el causante de la sinéresis presentada en las muestras. Una vez que se elaboraron las muestras de acuerdo al diseño experimental, se procedió a evaluar la separación de fases. Los tratamientos no presentaron separación alguna, pero en todas las muestras obtenidas se presentó un endurecimiento y cierto grado de resequead en la superficie de los sustitutos de crema pastelera obtenidos, motivo por el cual se decidió adicionar a los ingredientes de la fórmula un humectante, glicerol, debido a su naturaleza líquida y también para ayudar más a la estabilización de la emulsión ya que éste actúa también como emulsificante disolviéndose en la misma medida en agua y en aceite (Lewis, 1993). Además, se decidió bajar las concentraciones de almidón y grasa presentes en la formulación, debido a que la consistencia de los sustitutos obtenidos no fue la deseada. Estos resultados llevaron a un nuevo diseño de experimentos, en el cual se varió la concentración de almidón de 4.1 y 4.4%; de grasas de 20, 25, 30 y 35%; y la presencia de un humectante al 1 y 2 %.

En los resultados obtenidos en esta etapa se explican de acuerdo a lo mencionado anteriormente, ya que en estas muestras se obtuvo un sustituto de crema pastelera con una consistencia de mayor rigidez que la obtenida en la etapa

anterior como resultado directo del incremento simultáneo de las concentraciones de almidón y de grasa, ya que al aumentar la concentración de almidón la rigidez del gel obtenido será mayor, mientras que al aumentar la cantidad de triacilglicéridos presentes en el producto se incrementa la concentración de la fase cristalina que forman éste tipo de lípidos. Por lo tanto el incremento de ambos componentes en la formulación propició un incremento en la dureza del sistema disperso.

6.4. Cuarta etapa: Efecto de la relación almidón, grasa y humectante en el sustituto de crema pastelera

Al analizar las muestras elaboradas de acuerdo a lo propuesto anteriormente y al diseño experimental resultante que se muestra en la sección 5.3.4, se observó que en un lapso de 3 días después de su elaboración, ya no había endurecimiento ni resequedad en la superficie de las muestras obtenidas pero éstas tenían demasiada fluidez y no conservaban su estructura, motivo por el cual se consideró que la textura no cumplía con lo requerido, decidiendo por lo tanto a realizar una serie más de muestras en las cuales se disminuiría la concentración de humectante para disminuir la fluidez.

Para este nuevo diseño de experimentos se tomó como referencia la concentración de almidón de 4.1% y la de grasa de 25%, ya que estas concentraciones eran la que más se acercaban a los resultados esperados, además de que con esa concentración de grasa no se detectaba la presencia de una fase grasosa al momento de paladear la muestra. En cuanto al humectante se varió en 2 concentraciones, que fueron 0.5% y 1%. Aunque la concentración de 1% ya se había analizado se quiso comprobar si en realidad se modificaría la textura al disminuirla a 0.5%. Al tener las 2 muestras en observación después de 3 días a temperatura ambiente se comprobó que la textura había mejorado con la

concentración de 0.5% de humectante por lo que con esto se lograba una parte de los objetivos de éste trabajo.

6.5. Resultados de las pruebas afectivas de aceptación y la vida de anaquel acelerada (40 °C), mediante la separación de fases de la fórmula del sustituto de crema pastelera seleccionada finalmente.

Así, finalmente la muestra que se eligió fue la que contenía una concentración de almidón de 4.1%, una concentración de grasa de 25%, y una concentración de 0.5 % de humectante (glicerol), ya que presentó una buena estabilidad fisicoquímica y sensorial de acuerdo a los datos obtenidos. Los resultados de la prueba afectiva de aceptación se observó que los jueces no entrenados no encontraron diferencias significativas entre el sustituto de crema obtenido en el presente trabajo y una muestra comercial de importación, es decir el posible público consumidor no tuvo preferencia por ninguna de las dos, es decir las dos muestras fueron igualmente aceptadas. Lo que demuestra que se logró obtener un sustituto de crema pastelera con las características de textura y sabor similares a las de la muestra comercial de importación.

Finalmente la formulación del sustituto de crema pastelera seleccionada como resultado de las cuatro etapas fue sometida a una temperatura de 40°C manteniendo su estabilidad fisicoquímica en cuanto a separación de fases durante 3 meses y sin la presencia de hongos ni levaduras, lo cual indicó que si se consiguió alargar la vida de anaquel debido a su resistencia a estas condiciones extremas de temperatura.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la primera etapa se puede establecer que uno de los factores más importantes pero no el único, es el tipo de emulsificante empleado, ya que nosotros obtuvimos emulsiones con una baja separación de fases, pero las emulsiones donde se obtuvo la menor separación de fases no fueron las que dieron los mejores resultados en la estabilidad del sustituto de crema, ya que la formulación y elaboración de una emulsión es un proceso complicado y se deben de tomar en cuenta todos los factores que intervienen en la estabilidad de la misma y también todas las etapas que se realizan en el proceso de elaboración. La formulación obtenida en esta etapa nos sirvió de base para la segunda etapa.

La presencia de alginato provoca la separación de fases del sustituto de crema, haciéndola inestable, ya que el sustituto de crema presenta una mayor separación de fases cuando este compuesto estaba presente en la formulación empleada.

La relación entre la concentración de sacarosa y jarabe de maíz en el producto es muy importante, ya que la sacarosa puede cristalizarse, mientras que el jarabe de maíz no cristaliza, si la concentración de sacarosa es mayor que la concentración del azúcar invertido, la sacarosa cristaliza y le confiere un mal aspecto al producto final. Es por eso que se combinan estos dos tipos de azúcares en las proporciones indicadas, para así llegar al punto de equilibrio y evitar esta cristalización de la sacarosa.

La concentración del almidón también es importante para lograr la textura adecuada en el sustituto de crema pastelera, ya que si la concentración de éste es elevada, la textura del producto será harinosa y pastosa, contrariamente, si la

concentración de almidón es baja, la textura es poco viscosa, por lo tanto, no nos serviría para lograr los objetivos de este proyecto.

La adición del humectante en la formulación final del sustituto de crema pastelera fue de mucha ayuda, ya que éste ayudó a obtener y conservar las características organolépticas buscadas en el sustituto, mediante la reducción de la cantidad de agua libre presente en el sustituto de crema elaborado.

La conclusión general del presente trabajo de tesis es que fue posible obtener un sustituto de crema pastelera con características organolépticas similares a las de la crema pastelera comercial de importación, con una vida de anaquel de 3 meses a una temperatura de 40°C, cumpliéndose satisfactoriamente los objetivos planteados al principio del mismo, ya que el posible público consumidor no fue capaz de detectar diferencias significativas entre el producto comercial y el nuestro.

8. BIBLIOGRAFÍA.

Anónimo 2005: <http://www.mundorecetas.com/acomer/pasoapaso/cremapastelera/>

Anónimo 2006a: <http://www.nutricionyrecetas.com/recetas/postres/3444.htm>

Anónimo 2006b: <http://www.sólopostres.com/ver-articulo.asp?t=Crema%20pastelera%20y%20crema%20inglesa%20su%20cocimiento,%20sus%20aplicaciones%20y%20sus%20secretos&articulo=11>

Anónimo 2006c: <http://www.ransa.com/reposteria/ingredientes/cremapast.htm>

Anzaldúa Morales Antonio. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Editorial Acríbia, S.A. Zaragoza, España 1994.

Badui Dergal. Química de los alimentos, tercera edición. Ed. Pearson. México 1993

Barda Nora. Análisis sensorial de los alimentos. Entrevista a la jefa del Centro de Investigación y Asistencia Técnica a la Industria Argentina 2006

Barnes H.A, Hutton J.F and Walters F.R.S. An introduction to rheology. Elsevier Science Publishers B.V. (1989).

Becher Paul. Emulsión: theory and practice. Oxford University press. Oxford 2001.

Belitz Grosch. Química de los alimentos segunda ed. Ed. Acribia Zaragoza España 1997

Bird R.B, Amstrong R.C and Hasseger O. Dynamic of polymeric liquids, fluid mechanics, John Wiley and Sons, New York ,1 (1977).

Cepeda, A.; Almena, M. Franco, C. M.; Fente, C. A.; Vázquez, B. I.; García, M.; Fernández, E.; Montouto, M. Introducción del Consumidor al Análisis Sensorial. Universidad de Santiago de Compostela. Dpto. de Química Analítica, Nutrición y Bromatología. Facultad de Veterinaria de Lugo, España. 2002.

Charley Helen . Tecnología de alimentos. Ed. Limusa. México 2001. Curso-Taller sobre Evaluación Sensorial. Impartido por Ma. del Carmen Vázquez Hernández. Coordinador sensorial de Symrise de México. Hidalgo 2004

Dikinson, E. (1988). The role of hydrocolloids istabilising particulate dispersions and emulsions, in Gums and Stabilizers of the Food Industry, Vol. 4 (G. O. Phillips, D. J. Wedlock, and P.A. Williams, Eds), IRL Press, Oxford.

Dikinson. E. (1992). Structure and composition of adsorbed protein layers and relation to emulsion stability. J. Chem. Soc. Faraday Trans. 88:2973-2983.

Dikinson, E., V. B. Galazka, and D. M. W. Anderson (1991). Emulsifying behaviour of gum arabic. Part 1: Effect of the nature of the oil phase on the emulsion droplet-size distribution. Carbohydrate polym. 14:373-383. Cohen Stuart, J. M. H. M. Scheutjens, T. Cosgrove, and B. Vicent (1993). Polymers at interfases, Chapman & Hall, London.

Dominc W.S. Química de los alimentos mecanismos y teoría. Ed. Acribia S.A. Zaragoza España 1995.

Fennema O.R. Quimica de alimentos. 2º Edición. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza España, 2000

Garti, N and D. Reichman (1994). Surface properties and emulsification activity of galactomannans. Food Hydrocolloids 8:155-173.

Horst-Dieter Tseheuschner. Fundamentos de tecnología de los alimentos. Ed. Acribia S.A. Zaragoza España 2001

Imeson Alan. Thickening and gelling agents for food. Ed. Blackie Academic and professional. Londres 1992

Krog, N. J. (1990). Food emulsifiers and their chemical and physical properties, in food emulsions (K. Larsson and S. E. Friberg, eds), 2nd. Ed., Marcel Dekker, New York.

Larson, K., and P. Dejmek (1990). Crystal and liquid crystal structure of lipids, in Food Emulsions ((K. Larsson and S. E. Friberg, eds), 2nd. Ed., Marcel Dekker, New York.

Lewis M.J. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Ed. Acribia . S.A. Zaragoza España 1993.

Lewis M.J. Physical Properties of Foods and Processing System. Ellis Horwood Ltd. (Eds.), England. 465-468 (1987).

Lück Erich y Jader Martin. Conservación química de los alimentos, características, usos y efectos. Segunda edición. Ed. Acribia S.A. Zaragoza España 1995

Norde, W., and J. Lyklema (1991). Why proteins prefer interfaces. J. Biomater. Sci. Polymer Ed. 2:183-202.

Shinoda, K., and H. Kunieda (1983). Phase properties of emulsions: PIT and HLB, in Encyclopedia of Emulsion Technology, Vol. 1, Basic Theory (P. Becher, ed), Marcel Dekker, New York, pp. 337-367.

Steffe J. F. Rheological Methods in Food Process Engineering., Freeman Press, East Lansing, Michigan (1992).

Steffe J. F. Rheological Methods in Food Process Engineering., Freeman Press, United States of America (1996).

Toral Ma. Teresa. Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos. Ed. URMO. España 1973.

Tung M.A and Paulson A.T. Rheological concepts for probing ingredient interactions in food systems, in ingredient interactions. Effects on Food Quality. Gaonkar, G.A. (Ed.), Marcel Dekker Inc. 45-83 (1995).

Walstra, P. (1987). Fat crystallization, in Food Structure and Behaviour (J. M. V. Blanshard and P. Lillford, eds.) Academic Press, London, pp. 67-85.

Walstra, P. (1988). The role of proteins in the stabilization of emulsions, in gums and stabilizers for the Food Industry, Vol. 4 (G. O. Phillips, D. J. Wedlock, and P. A. Williams, eds.), IRL Press, Oxford, pp. 323- 336.

Walstra, P., and A. L. De Roos (1993). Proteins at air-water and oil-water interfaces: Static and dynamic aspects. Food Rev. Int. 9:503-525.

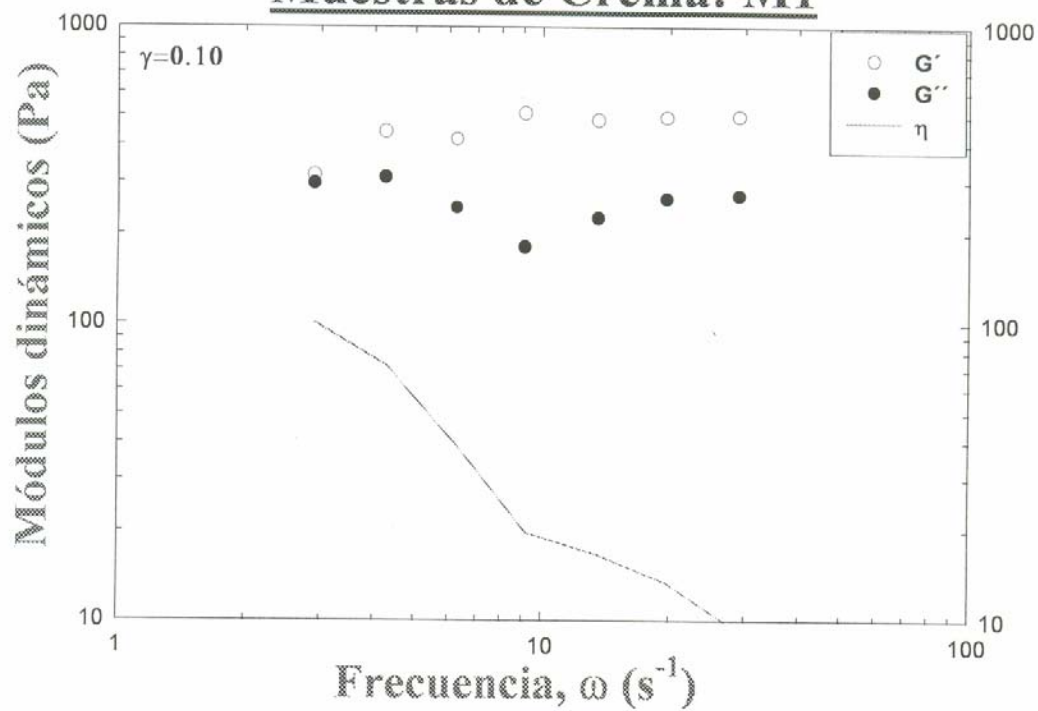
ANEXOS

Sensor: Cono y plato PPTi

Rheometro: Haake300

Espectros mecánicos dinámicos a 25 °C

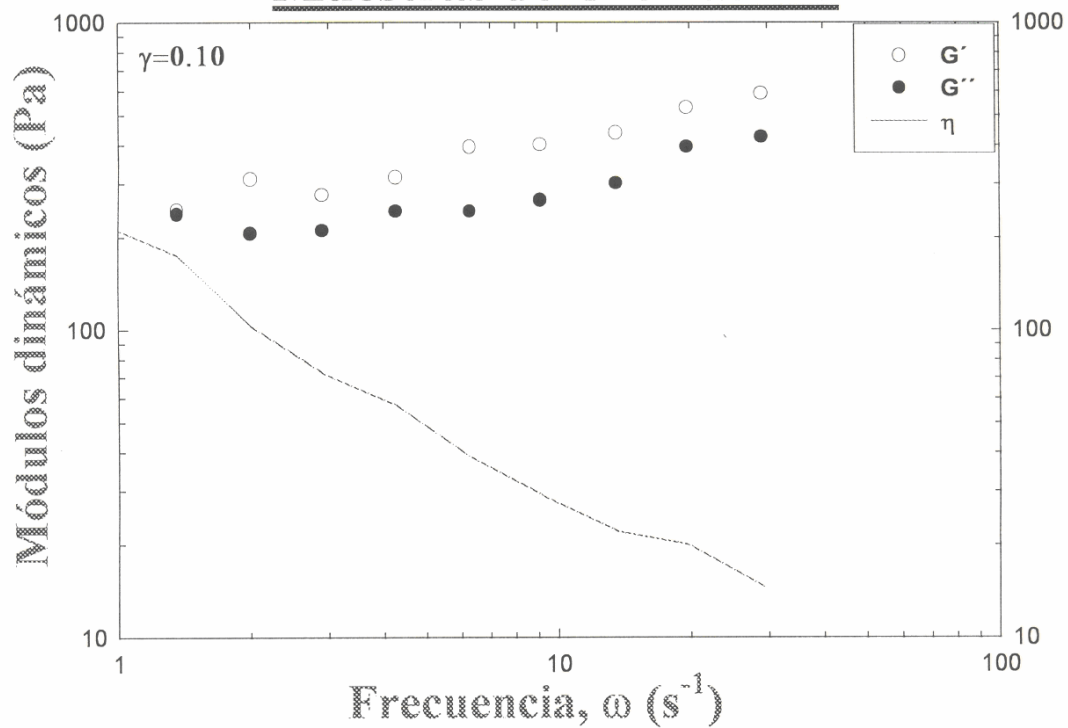
Muestras de Crema: M1



ANEXO1: Módulos dinámicos de almacenamiento (G'), de pérdida (G'') y viscosidad dinámica (η) de la muestra número 1.

Sensor: Cono y plato PPTi
Rheometro: Haake300

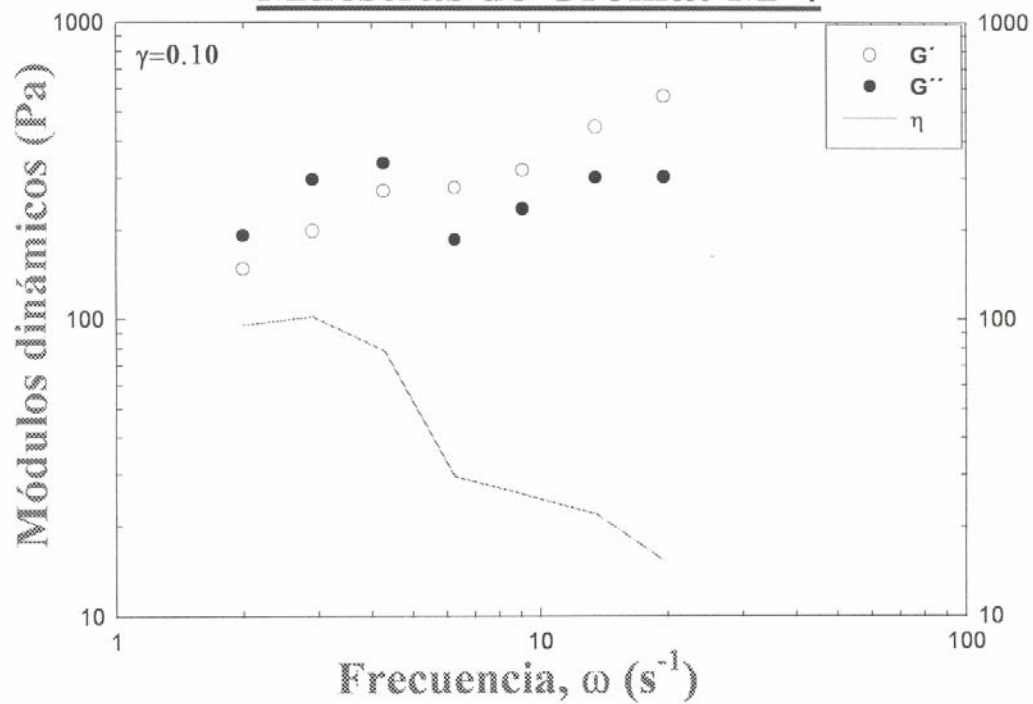
Espectros mecánicos dinámicos a 25 °C
Muestras de Crema: M3



ANEXO2: Módulos dinámicos de almacenamiento (G'), de pérdida (G'') y viscosidad dinámica (η) de la muestra número 3.

Sensor: Cono y plato PPTi
Rheometro: Haake300

Espectros mecánicos dinámicos a 25 °C
Muestras de Crema: M-4



ANEXO 3: Módulos dinámicos de almacenamiento (G'), de pérdida (G'') y viscosidad dinámica (η) de la muestra número 4.