



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA
Y BIOINGENIERÍA**

**CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA ESTÁTICA Y DINÁMICA DE
PASTAS UNTABLES CONTENIENDO ZARZAMORA (*Rubus
fruticosus*) Y EVALUACIÓN DE SU CAPACIDAD
ANTIOXIDANTE**

Tesis que presenta

Stephanie Elizabeth Hereira Pacheco

Para obtener el de grado de
**MAESTRA EN CIENCIAS
EN LA ESPECIALIDAD DE BIOTECNOLOGÍA**

Directores del proyecto:

**Dr. Juan Alfredo Salazar Montoya
Dra. Emma Gloria Ramos Ramírez**

México, D.F.

Octubre, 2015.

Contenido

Contenido	ii
Notación.....	xiv
Resumen	xv
Abstract.....	xvi
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Zarzamora	2
1.1.1. Descripción Botánica y Composición	3
1.1.2. Distribución de la Zarzamora	4
1.1.3. Estado del Arte.....	10
1.2. Derivados Lácteos	11
1.2.1. Crema	11
1.2.2. Queso Crema.....	13
1.3. Pastas Untables.....	14
1.4. Reología	16
1.4.1. Comportamiento de Sólidos y Líquidos.....	16
1.4.2. Tipos de Comportamiento al Flujo.....	18
1.4.3. Modelos Reológicos.....	18
1.4.5. Métodos Experimentales.....	22
1.5. Perfil de Textura	32
1.6. Antioxidantes	35
1.7. Actividad Antioxidante y Métodos para su Medición.....	37
1.8. Justificación	38
1.9. Hipótesis	39
1.10. Objetivos.....	39
1.10.1. Objetivo General	39
1.10.2. Objetivos Específicos.....	40
2. MATERIALES Y MÉTODOS	42
2.1. Materiales, Reactivos y Equipos	42
2.1.1. Materiales.....	42
2.1.2. Reactivos	42

2.1.3. Equipos	43
2.2. Estrategia Experimental.....	43
2.3. Métodos.....	45
2.3.1. Obtención de la Pulpa de Zarzamora y Mezclas con Crema y Queso	45
2.3.2. Análisis Bromatológico de la Pulpa de Zarzamora.....	46
2.3.3. Estudios Reológicos.....	48
2.3.4. Análisis de Textura.....	51
2.3.5. Optimización de Formulaciones con Crema y Queso	52
2.3.6. Caracterización Bromatológica de Formulaciones Óptimas.....	55
2.3.7. Evaluación Sensorial de Formulaciones Óptimas	55
2.3.8. Evaluación de la Actividad Antioxidante de Mezclas Óptimas	57
2.3.9. Análisis estadístico de los resultados.....	60
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
3.1. Composición Proximal de Pulpa de Zarzamora.....	62
3.2. Comportamiento al Flujo de Componentes y Mezclas con Zarzamora.....	63
3.3. Comportamiento Viscoelástico de Componentes y Mezclas	73
3.3.1. Estudios dinámicos y oscilatorios.....	73
3.3.2. Curvas de Creep	83
3.4. Análisis de Perfil de Textura y Untabilidad.....	89
3.5. Optimización de Formulaciones.....	96
3.6. Composición Proximal de Formulaciones Óptimas de Pastas Untables.....	108
3.7. Evaluación Sensorial de Formulaciones Óptimas.....	110
4. CONCLUSIONES.....	124
5. RECOMENDACIONES	128
BIBLIOGRAFÍA.....	130
ANEXOS.....	145

Listado de Figuras

Figura 1. Clasificación del comportamiento al flujo dependiendo de la curva de flujo (esfuerzo vs velocidad de cizalla).	19
Figura 2. a) Barrido de frecuencia, b) comportamiento de sólido elástico, c) comportamiento de líquido y d) comportamiento viscoelástico.	25
Figura 3. Espectro mecánico típico (G' , círculos llenos, G'' círculos vacíos).	26
Figura 4. Modelos mecánicos de Maxwell y Kelvin-Voigt.	29
Figura 5. Modelo mecánico de Burgers.	29
Figura 6. Curva típica de Creep para un modelo de Burgers.	30
Figura 7. Esquema típico de un análisis de perfil de textura (TPA) con dos mordidas o compresiones, curva fuerza vs tiempo o deformación	34
Figura 8. Esquema del diseño de superficie de respuesta para la optimización de las formulaciones de zarzamora con crema y queso crema.	54
Figura 9. Comportamiento al flujo de componentes individuales.	68
Figura 10. Comportamiento al flujo de pastas untables incorporando crema	69
Figura 11. Comportamiento al flujo de pastas untables incorporando queso crema	69
Figura 12. Comportamiento de los módulos de almacenamiento y de pérdida en función de la frecuencia de los componentes individuales (zarzamora, crema, queso).	78
Figura 13. Comportamiento de la $\tan \delta$ en función de la frecuencia en los componentes individuales (zarzamora, crema, queso).	79
Figura 14. Comportamiento de los módulos de almacenamiento y pérdida en función de la frecuencia (ω) de las pastas untables de zarzamora con crema	81
Figura 15. Comportamiento de los módulos de almacenamiento y pérdida en función de la frecuencia (ω) de las pastas untables de zarzamora con queso crema.	81

Figura 16. Comportamiento de la $\tan \delta$ en función de la frecuencia (ω) en las pastas untables de pulpa de zarzamora con crema.	82
Figura 17. Comportamiento de la $\tan \delta$ en función de la frecuencia (ω) en las pastas untables de pulpa de zarzamora con queso crema.	82
Figura 18. Curvas de Creep de los componentes individuales (queso, crema y zarzamora).....	86
Figura 19. Curvas de Creep de pastas untables de zarzamora y crema.	87
Figura 20. Curvas de Creep de pastas untables de zarzamora y queso crema. ...	87
Figura 21. Imágenes escaneadas antes y después de la compresión en el estudio de untabilidad para los componentes individuales.....	93
Figura 22. Imágenes escaneadas antes y después de la compresión en la prueba de untabilidad para las pastas untables de crema con pulpa de zarzamora.....	94
Figura 23. Imágenes escaneadas antes y después de la compresión en la prueba de untabilidad para las pastas untables de queso con pulpa de zarzamora.....	95
Figura 24. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro dureza en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y crema.	105
Figura 25. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro adhesividad en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y crema.....	105
Figura 26. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro tensión de compresión en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y crema....	106
Figura 27. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro dureza en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y queso crema.	106
Figura 28. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro adhesividad en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y queso crema.	107

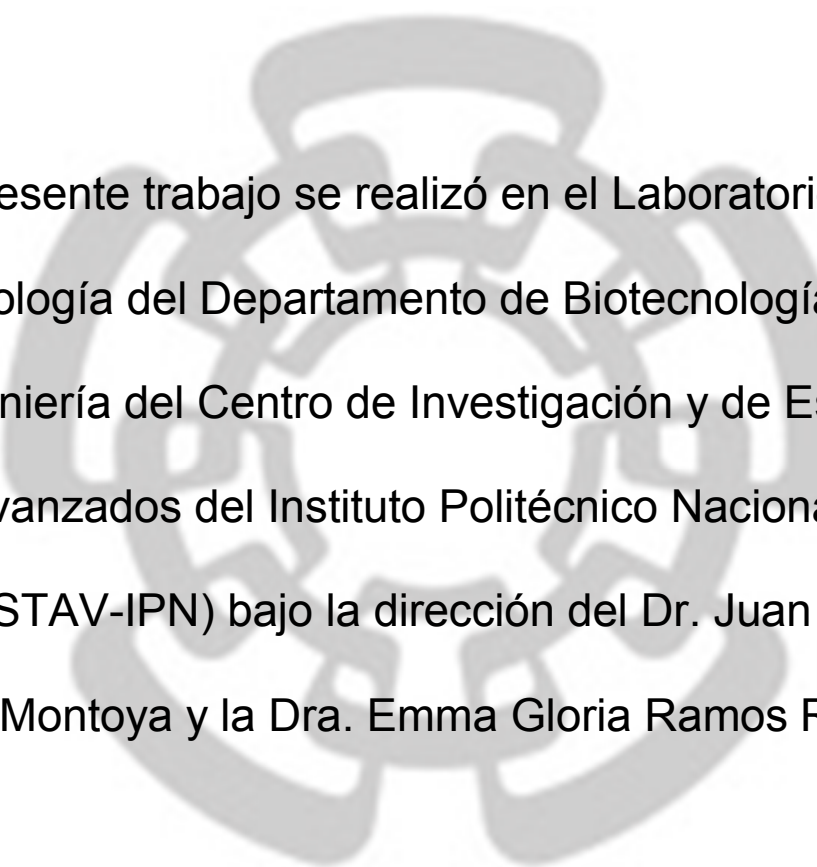
Figura 29. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro tensión de compresión en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y queso crema.	107
Figura 30. Gráfica radial de los promedios de los parámetros obtenidos en el análisis sensorial de las pastas untables.	112
Figura 31. Gráfica radial de los promedios de los parámetros obtenidos en el análisis sensorial de las pastas untables con crema	116
Figura 32. Gráfica radial de los promedios de los parámetros obtenidos en el análisis sensorial de las pastas untables con queso crema.....	116
Figura 33. Capacidad antioxidante ABTS (TEAC) en zarzamora, queso, crema y pastas untables de zarzamora conteniendo queso y crema en almacenamiento	122
Figura 34. Capacidad antioxidante DPPH (TEAC) en zarzamora, queso, crema y pastas untables de zarzamora conteniendo queso y crema en almacenamiento	122

Listado de Tablas

Tabla 1. Clasificación científica taxonómica de la zarzamora.....	3
Tabla 2. Producción Nacional de zarzamora 2013.	8
Tabla 3. Producción de zarzamora por estado/año	9
Tabla 4. Modelos matemáticos reológicos.....	20
Tabla 5. Términos típicos de un análisis de perfil de textura (TPA).....	33
Tabla 6. Características, presentación y composición de materias primas lácteas usadas.	42
Tabla 7. Variables independientes y sus niveles empleados en el diseño de compuesto central para la obtención de fórmulas óptimas	53
Tabla 8. Métodos para la caracterización bromatológica de formulaciones.....	55
Tabla 9. Contenido de edulcorantes de muestras estudiadas en la evaluación sensorial	56
Tabla 10. Escala hedónica utilizada en la evaluación sensorial.	57
Tabla 11. Composición fisicoquímica de la zarzamora (<i>Rubus fruticosus</i>).....	62
Tabla 12. Valores de tixotropía, viscosidad y pH obtenidos en cada uno de los sistemas.....	67
Tabla 13. Parámetros del modelo de Ostwald de Waele para cada sistema.....	71
Tabla 14. Parámetros del comportamiento viscoelástico de los componentes individuales y pastas untables estudiadas obtenidos en función de la frecuencia.	75
Tabla 15. Parámetros obtenidos por ajuste del método de Burgers en las curvas de Creep.....	88

Tabla 16. Parámetros texturales obtenidos de la Curva Tipo TPA para componentes individuales y pastas untables	92
Tabla 17. Diseño experimental compuesto central con tres niveles y tres variables respuesta, dureza, adhesividad y tensión de compresión pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora con crema	97
Tabla 18. Diseño experimental compuesto central con tres niveles y tres variables respuesta, dureza, adhesividad y tensión de compresión en pastas untables de pulpa de zarzamora con queso crema.....	98
Tabla 19. Coeficientes de regresión y Análisis de los modelos de las variables de tres respuestas para pastas untables de Crema con Pulpa de Zarzamora	102
Tabla 20. Coeficientes de regresión y Análisis de los modelos de las variables de tres respuestas pastas untables de Queso Crema con Pulpa de Zarzamora	102
Tabla 21. Formulación óptima obtenida de pastas untables de crema y/o queso con pulpa de zarzamora.	108
Tabla 22. Caracterización proximal de formulaciones obtenidas para cada uno de las pastas untables	109
Tabla 23. Caracterización proximal de componentes individuales utilizados en las pastas untables.....	109
Tabla 24. Resultados del ANOVA de la evaluación sensorial de las muestras de pastas untables de crema con azúcar y stevia.	111
Tabla 25. Resultados del ANOVA de la evaluación sensorial de las muestras de pastas untables de queso con azúcar y stevia.....	111
Tabla 26. Valores promedio obtenidos para los parámetros evaluados en cada tratamiento (formulaciones de pastas untables).	114
Tabla 27. Porcentaje de Inhibición de ABTS y DPPH en Zarzamora, Queso, Crema y pastas untables de Queso y Crema con Zarzamora al día 0.	120

Tabla 28. Capacidad antioxidante ABTS y DPPH (TEAC) en Zarzamora, Queso, Crema y pastas untables de Queso y Crema con Zarzamora en almacenamiento.	121
Tabla 29. Parámetros de los modelos de Herschel Bulkley y Sisko para los componentes individuales.....	145
Tabla 30. Parámetros de los modelos de Bingham y Sisko para las mezclas de pulpa de zarzamora con crema	146
Tabla 31. Parámetros de los modelos de Casson y Sisko para las mezclas de pulpa de zarzamora con queso	147



El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de
Reología del Departamento de Biotecnología y
Bioingeniería del Centro de Investigación y de Estudios
Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
(CINVESTAV-IPN) bajo la dirección del Dr. Juan Alfredo
Salazar Montoya y la Dra. Emma Gloria Ramos Ramírez

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada con el número de registro 298965 durante el período de Septiembre de 2013 a Agosto de 2015 para la realización de mis estudios de Maestría y el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Agradecimientos

A mis directores de Tesis

Dr. Juan Alfredo Salazar Montoya

Dra. Emma Gloria Ramos Ramírez

Por su apoyo, su asesoría, recomendaciones y su motivación para la realización y culminación de este proyecto.

A mis asesores

Dr. Ricardo Aguilar López

Dr. Alfredo Cruz Orea

Por su asesoría y disposición durante el desarrollo del presente trabajo.

Al Ing. Miguel Márquez Robles, Ing. María Dolores Díaz, Biol. María del Pilar Méndez, por su apoyo técnico durante el desarrollo de este estudio y sus consejos sabios.

Al Dr. Alfonso Totosaus Sánchez por su asesoría y préstamos del equipo de análisis de perfil de textura (TPA).

Dedicatoria

A Dios

Por darme la Fe y fuerza necesaria para culminar este proyecto y por iluminar mi camino en todo momento y hacerme posible llegar hasta aquí.

A mi mamá Arelys Pacheco de la Hoz

Por su apoyo incondicional, su amor y por su gran ayuda en cada momento de mi vida.

A mi papá, Arturo Hereira, mis hermanos Osmany y Julio Hereira, mis sobrinos Daniel y Daniella Cabarcas, Abigail y Benjamín Hereira

Por su apoyo, motivación y por su comprensión en esta lejanía de su lado, porque han seguido creciendo en mi ausencia y esa grandeza es mi motivación para seguir en este camino.

A mis amigos y más allegados Kevin Esmeral, Sindy Chamorro, Daniel de la Torre, Néstor De Oro y en especial Néstor Gaspar

Por su amistad y amor incondicional, además de su inmenso apoyo en los momentos difíciles.

A todos mi amigos y compañeros de Maestría y de Laboratorio

Por su ayuda, consejos, asesoría, quienes se convirtieron en mi familia presente y por dejarme ser parte de sus vidas en este hermoso país.

Notación

c = Crema

G' = Módulo de pérdida (Pa)

G'' = Módulo de almacenamiento (Pa)

G_0 = Módulo de rigidez (Pa)

Hz = Hertz

J = compliancia de Creep (1/Pa)

J_0 = compliancia instantánea (1/Pa)

J_1 = compliancia retardada (1/Pa)

J_∞ = último valor de compliancia en la zona de recuperación (1/Pa)

$J_{m\acute{a}x}$ = compliancia al suspender esfuerzo (1/Pa)

K = índice de consistencia (Pa.sⁿ)

L = litros

mL = mililitros

μ L = microlitros

n = índice de comportamiento al flujo

q = Queso tipo untable

s = segundo

z = pulpa de zarzamora

Letras griegas

γ = Deformación

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

γ_0 = amplitud de deformación

δ = Ángulo de desfase o desplazamiento (rad)

η = Viscosidad Newtoniana (Pa.s)

η_{ap} = Viscosidad aparente (Pa.s)

η^* = Viscosidad compleja (Pa.s)

η' = G''/ω = viscosidad dinámica (Pa.s)

λ_{ret} = tiempo de retardo del componente de Kelvin (s)

σ = Esfuerzo de cizalla (Pa)

σ_0 = Esfuerzo inicial de fluencia (Pa)

ω = frecuencia angular (Hz)

Lista de abreviaturas

ABTS: ácido 2,2'-azino-bis (3-
etilbenzotiazolin-6-sulfónico)

BHA: hidroxibutilanisol

DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo

TEAC: capacidad antioxidante equivalente en Trolox.

TBHQ: terbutil hidroquinona

TPA: análisis de perfil de textura

ZVL = zona viscoelástica lineal

Resumen

En los últimos años se ha incrementado el interés por el consumo de alimentos funcionales. Particularmente, el fruto de la zarzamora es una excelente fuente de vitaminas, minerales, ácidos orgánicos y flavonoides, con color y sabor característicos; así como propiedades antioxidantes. Desde el punto de vista económico, es atractivo obtener productos alimenticios de valor agregado a partir de este fruto. El objetivo del presente trabajo fue obtener pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora con queso y crema para su caracterización reológica, sensorial y actividad antioxidante. Las mezclas se diseñaron modificando las proporciones. Los sistemas obtenidos presentaron un comportamiento de tipo pseudoplástico no Newtoniano, con valores de índice de comportamiento al flujo para las mezclas de crema y pulpa de zarzamora en un intervalo de 0.222-0.468 y para las mezclas de queso y pulpa de zarzamora entre 0.091-0.425. Además, presentaron valores de $G' > G''$, característico de geles débiles. Las curvas de Creep presentan porcentajes de recuperación entre 56.00 y 86.21% para las mezclas de pulpa de zarzamora con crema, mientras que las mezclas con queso presentaron porcentajes de recuperación en un intervalo entre 66.29 y 84.98%. Se obtuvieron formulaciones óptimas de estas mezclas a través de un análisis de perfil de textura y estas formulaciones se evaluaron sensorialmente, obteniendo calificaciones por encima de 7 en una escala de 1 a 9. Además, se determinó que se conserva el potencial antioxidante del fruto en las mezclas obtenidas; durante el período de almacenamiento de 21 días empleando los métodos del DPHH y ABTS.

Los resultados obtenidos indican que la incorporación de pulpa de zarzamora en los sistemas untables prototipo lo que permitió obtener sistemas con características de flujo y deformación controladas y con capacidad antioxidante.

Abstract

In recent years, the demand for consumption of functional foods has been increased. Particularly, the blackberry fruit is an excellent source of vitamins, minerals, organic acids, flavonoids and is well recognized for having antioxidant properties. From an economic point of view it is attractive to obtain value-added products with this fruit. The aim of this work was to obtain mixtures of blackberry pulp with cream and spreadable cheese to rheological, sensorial and antioxidant activity characterization. The mixtures were designed by the modification of the proportions. All the samples presented a non-Newtonian pseudoplastic behavior, having values of complex index of 0.222-0.468 for mixtures with cream and blackberry pulp and for mixtures with cheese having values of 0.091-0.425. Also, presenting values of $G' > G''$, being weak gels. The Creep curves revealed percentages between 56.00 and 86.21% for mixtures of cream with blackberry pulp while the mixtures with cheese exhibiting recovery percentages in a range between 66.29 and 84.98%. It was obtained the optimal formulations of this mixtures through a texture profiles analysis and it was sensory evaluated getting scores above 7 in a scale from 1 to 9. Besides It was determined that the antioxidant potential of the fruit is preserve during storage at 21 days using DPPH y ABTS methods.

The results obtained suggest that the incorporation of blackberry pulp in the prototype spreadable systems which allowed to obtain systems with controlled flow and strain characteristics and with antioxidant capacity.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Zarzamora

Rubus fruticosus o zarzamora es una planta perteneciente a la familia de las rosáceas. Es originaria de Europa, Asia y Norte de África. Cuatro especies de géneros conforman el grupo denominado como “berries” y corresponden la mayor parte de los comúnmente llamados frutales menores (Zueng *et al.*, 1993).

Los hombres han utilizado los frutos de este tipo de plantas desde la antigüedad, recolectándolos de las variedades silvestres. No fue hasta finales del siglo XIX que empezaron a ser cultivadas. Como plantas cultivadas, se han conseguido producir más de 2000 variedades en todo el mundo. En muchos países productores la labor de recolección es realizada por máquinas. A pesar de su utilización en diversos platillos y otros propósitos culinarios, a nadie le parecía atractivo practicar su cultivo de manera comercial por las características de la planta (demasiadas espinas), (SAGARPA, 2014). Fue hasta 1920 que se inició el cultivo comercial de las zarzamoras en Estados Unidos. El género *Rubus* agrupa cerca de 500 especies distribuidas de diferentes partes del mundo, procedentes de Asia y América, las zarzas crecen en ribazos, bordes de camino, paredes y matorrales en muchas regiones templadas de América, Asia y Europa. Se encuentran abundantemente en Norteamérica y es particularmente frecuente en el oeste de Europa, especialmente en países mediterráneos; en estos países, se considera una planta invasiva de los terrenos cultivados y requiere grandes esfuerzos para erradicarla. Las especies más cultivadas por la calidad de sus frutos son: *R. ideaus*, *R. occidentalis*, *R. strigosus* y *R. fruticosus*. Los híbridos son el producto de cruzamiento entre varios tipos de *Rubus* de frutos nativos de Norteamérica y de

Europa. Se les conoce bajo el nombre de “Blackberries” en inglés, “Brombeeren” en alemán y Zarzamora en México (Muratalla *et al.*, 1993).

1.1.1. Descripción Botánica y Composición

Es una planta vivaz, leñosa y muy invasiva, con largos tallos flexibles llenos de espinas. Las hojas son pinnadas y se dividen en folíolos ovales, dentados, pubescentes por la parte inferior; están cubiertas de finas espinas, especialmente por la nervadura media. Las flores son de color blanco o rosado y se agrupan en racimos terminales. El fruto, denominado mora o zarzamora, es compuesto y globuloso. Es un fruto constituido por pequeños granos que se agrupan entre sí. Primero son de color verde, luego rojas y cuando están maduras adquieren un color negro brillante (Muñoz & Juárez, 1995).

Tabla 1. Clasificación científica taxonómica de la zarzamora

Clasificación Científica	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Rosales</i>
Familia	<i>Rosaceae</i>
Subfamilia	<i>Rosoideae</i>
Tribu	<i>Rubeae</i>
Género	<i>Rubus</i>
Subgénero	<i>Rubus</i>
Especie	<i>Rubus fruticosus</i>

Fuente: Muratalla *et al.*, 1993

La siembra se establece teniendo en cuenta que no se va a utilizar maquinaria de gran tamaño a lo largo del cultivo. La recolección de la fruta se realiza a mano, preferentemente por la mañana o al atardecer. Este fruto, tiene distintas características cualitativas que lo distinguen de otro, entre estos: su color, aroma, sabor y su textura suave (Charley, 1989, Rincón Montiel *et al.*, 2015).

La zarzamora es uno de los productos frutícolas más perecederos que existen ya que no tolera la exposición al sol después de su cosecha, se deshidrata extremadamente rápido si se almacena en condiciones no adecuadas y por su alta cantidad de agua es extremadamente susceptible a daños mecánicos y biológicos (Rincón Montiel *et al.*, 2015). En una fruta con un alto contenido de agua, por lo que tiende a ser jugosa, conteniendo una gran cantidad de componentes, siendo los principales azúcares y ácidos orgánicos (málico e isocítrico), (Wrolstad *et al.*, 1980, Kaume *et al.*, 2012). Algo característico de esta fruta es la abundancia de pigmentos naturales y antocianinas que contiene siendo de alto potencial antioxidante (Jackman & Smith, 1996, Verma *et al.*, 2014).

1.1.2. Distribución de la Zarzamora

1.1.2.1. Regiones de Cultivo

La zarzamora se desarrolla de manera excelente en las zonas cuya vegetación natural es de bosques de pino y encino; en donde el clima es templado, con veranos cálidos e inviernos fríos. Los requerimientos climáticos de la zarzamora corresponden a las condiciones que se presentan en los municipios de Zamora, Los Reyes, Tangancícuaro, Peribán y zonas bajas de Uruapan, Ziracuaretiro, Taretan, Ario de

rosales, Tacámbaro, Villa Escalante y Zitácuaro; en ellos se presentan climas templados en los cuales el invierno tiene días y noches frescas sin que las temperaturas promedio del mes más frío sean menores a los 8 °C. En estos lugares se presentan lluvias suficientes durante el verano y parte del otoño, lo que los hace lugares propicios para cultivar zarzamoras de excelente calidad durante los meses de septiembre a mayo. Cabe destacar que en estas regiones de Michoacán se concentran el 98% de la producción nacional de zarzamora, seguida por el Estado de México con 1%. (SAGARPA, 2014).

1.1.2.2. Mercado internacional de zarzamora.

En el mercado internacional de frutillas, la zarzamora, se agrupa con las frambuesas y otras bayas, esto debido a que la frambuesa es la más importante comercialmente dentro del grupo de bayas diferentes a la fresa. De acuerdo con la FAO (2006), la producción mundial de zarzamoras, frambuesas y otras bayas, fue cercana a 1,238.2 miles de Toneladas, que comparada con la producción de 1995, que fue de 828.7 miles de Toneladas; representó un crecimiento del 49% por lo que se tiene una tasa de crecimiento anual de 4.5%. Según la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2008), la superficie cosechada de zarzamora fue de 22,000 Hectáreas, siendo Serbia, EU y México los principales productores. Durante el periodo 1995-2005, el valor de las exportaciones mundiales de zarzamoras, frambuesas y otras bayas frescas mostraron un incremento del 158% al pasar de 111.27 millones de dólares en 1995 a 287.61 millones de dólares en 2006, lo que equivale a una tasa media de crecimiento anual del 14.4% (SAGARPA, 2014).

En valor de las exportaciones de frambuesas y otras bayas en fresco, México es el primer país exportador mundial con una participación de 2004 a 2006 del 23% del valor de las exportaciones mundiales, seguido por los estados unidos con el 22% España 16%, Polonia 10%, Chile 7%, Países Bajos 4% y Bélgica 3% (SAGARPA, 2014).

Diez países concentran el 88% del valor de las importaciones mundiales de frambuesas y otras bayas. En América, los Estados Unidos y Canadá importan el 42% del valor total. En Europa, el Reino Unido consumió el 11% de valor de las importaciones mundiales, seguido por Alemania con el 8%, Francia 6%, Países Bajos 4%, Austria 4%, Italia 3% y Bélgica 3%. En Asia y Japón es el más importante importador, con el 7% del valor mundial y aproximadamente el 77% de las importaciones totales del continente Asiático. Sin embargo, México es el país que ocupa el primer lugar en el rubro de exportaciones. La producción nacional se basa en técnicas que incluyen poda y aplicación de biorreguladores del crecimiento. (SAGARPA, 2014).

1.1.2.3. Mercado Nacional de zarzamora.

Los Estados de la República Mexicana que reportan una mayor producción de zarzamora son los estados de Michoacán, Jalisco y Colima, los dos últimos han incrementado su producción, se encuentran relativamente cerca del Municipio de Los Reyes, Michoacán. La producción Nacional de zarzamora pasó de 42,497 Toneladas en el año 2006 a 128,977 Toneladas en el año 2013. El crecimiento en este periodo fue de poco más del 303%. En las Tablas 2 y 3 están los datos reportados por el SIAP

de producción, cosecha y valor de cosecha para el año 2013 y cómo ha aumentado la producción de este cultivo desde el año 2006 (SIAP, 2013).

Las principales razones por las que no se incrementa el consumo en fresco es la falta de infraestructura, red de frío, además de servicios especializados de comercialización y “marketing”. Si no se logra revertir esta tendencia, éste canal de comercialización se mantendrá de manera natural. Sin embargo, el consumo per cápita de esta frutilla en fresco se considera bajo, comparado con los Estados Unidos y el mercado Europeo que son los principales consumidores; lo que si se considera que se tiene un mercado potencial ya que las zarzamoras presentan condiciones nutricionales apropiadas para el mercado de alimentos, de la salud; así como para alimentos “gourmet”; el potencial en el consumo fresco sigue siendo un área de oportunidad ya que se tiene que solventar el reto de la fragilidad y vida de anaquel del producto, ya que actualmente se requieren canales de comercialización con un alto grado de tecnología para su conservación en fresco (SAGARPA, 2014).

Tabla 2. Producción Nacional de zarzamora 2013.

Estado	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Baja California	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chihuahua	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Colima	108.00	108.00	1,182.00	10.94	36,681
Distrito Federal	5.00	5.00	16.38	3.28	178.54
Guanajuato	23.00	3.00	6.00	2.00	64.00
Hidalgo	1.00	1.00	2.20	2.20	29.70
Jalisco	431.00	300.00	5,138.03	17.13	61,677
Michoacán	11,456.	11,400.0	122,203	10.72	3,993,93
Morelos	10.00	10.00	18.00	1.80	193.50
México	20.00	20.00	74.10	3.71	1,172.90
Nayarit	3.00	3.00	21.60	7.20	432.00
Puebla	34.00	34.00	273.20	8.04	414.01
Querétaro	3.00	3.00	27.00	9.00	267.30
Veracruz	2.00	2.00	14.00	7.00	490.00
	12,117.00	11,889.00	128,976.41	10.85	4,095,530.1

Fuente: (SIAP, 2013)

Tabla 3. Producción de zarzamora por estado/año

Estado	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Baja California	-	80	-	-	-	-	-	-
Chiapas	2	2	1	-	-	-	-	-
Chihuahua	210	352	45	-	-	-	-	-
Colima	3	593	825	1449	1326	1493.02	915	1182
Distrito Federal	20	20	20	20	21	19.80	19.9	16.38
Guanajuato			35	42	39	36.6	-	6
Hidalgo	46	43	31	22	2	2	2.3	2.2
Jalisco	624	142	364	1604	1558	4357.42	3882.60	5138.03
México	326	254	221	340	204	99.25	81.05	74.1
Michoacán	40841	42369	116649	112310	58279	129403.94	134708.16	122203.9
Morelos	51	15	80	72	10	20	23	18
Nayarit	374	267	139	89	45	43.80	43.08	21.60
Puebla	-	-	12	12	12	24	24	273.2
Querétaro	-	-	-	-	61	63	68	27
Veracruz	-	-	-	-	-	-	36	14
Producción Nacional	42,497	44,136	11,8422	11,5961	6,1558	135,562.83	139,803.09	128,976.41

(-) = no se presentaron reportes

Fuente: (SIAP, 2013)

1.1.3. Estado del Arte

En la literatura se encuentran algunas investigaciones referentes a la zarzamora (*Rubus fruticosus*) y sus derivados (jugos, mermeladas, pulpa, entre otras).

La mayoría de estos estudios están enfocados en estudiar las propiedades benéficas y funcionales de este fruto como su potencial antioxidante o su capacidad antioxidante (Benvenuti *et al.*, 2004, Elisia *et al.*, 2007, Céspedes *et al.*, 2008, Sariburun *et al.*, 2010, Huang *et al.*, 2012, Ortiz *et al.*, 2013, Verma *et al.*, 2014).

También, los efectos de este potencial antioxidante en humanos tras el consumo de jugos de zarzamora con y sin leche baja en grasa (Hassimotto *et al.*, 2008b) , además de estudios *in vivo* e *in vitro* de elagitaninos de zarzamora para evaluar el control de inflamación gástrica (Sangiovanni *et al.*, 2013).

En cuanto a jugo se refiere se han estudiado sus propiedades reológicas y termofísicas (Cabral *et al.*, 2007), la degradación cinética de las antocianinas que contiene (Wang & Xu, 2007) y también la influencia de azúcares y ácido clorogénico en el contenido de estas antocianinas, en la actividad antioxidante y cambio del color de los jugos de zarzamora durante el almacenamiento (Kopjar *et al.*, 2012). También existe estudios en mermeladas y su potencial antioxidante (Tamer, 2012, Poiana *et al.*, 2013) y en vinos (Ortiz *et al.*, 2013).

La literatura también reconoce este fruto como benéfico y que puede ser utilizado como hierba medicinal (Verma *et al.*, 2014) y también se ha revisado su composición,

la parte química, metabolismo, biodisponibilidad y beneficios en la salud (Kaume *et al.*, 2012).

1.2. Derivados Lácteos

La leche es transformada con propósitos de conservación y subsecuente comercialización. Los derivados lácteos incluyen un diverso grupo de alimentos preparados con la leche; en los que se incluyen crema, mantequilla, helado, yogur, queso, entre otros; estos productos son de gran importancia desde un punto de vista nutricional, tecnológico y económico (Clark *et al.*, 2009). Comúnmente la leche es considerada como líquido, un queso duro es un ejemplo de sólido y varios tipos de queso pueden ser considerados como viscoelásticos por su comportamiento intermedio (Velez-Ruiz & Barbosa Canovas, 1997).

1.2.1. Crema

La crema es considerada como un producto lácteo basado en grasa. En la crema los glóbulos de grasa están dispersos en una alta concentración y están afectados por cualquier cambio, por ejemplo la incorporación de algún compuesto a la misma, incluso el aire (Velez-Ruiz & Barbosa Canovas, 1997).

La crema es un producto de repostería y cocina importante a nivel mundial, en especial en México, utilizándose como acompañante en diversos platillos (PROFECO, 2011). Su aporte nutrimental es muy importante. Por ejemplo, la crema contiene calcio, vitamina A y vitamina B. Además, contiene proteína y un alto valor energético debido al porcentaje de grasas. Este último es uno de los aspectos más importantes, ya que

por su contenido de lípidos las cremas pueden clasificarse en: cremas extra grasa, cremas, medias cremas y lights, lo cual debe especificarse bien en la etiqueta. En México la norma que regula este tipo de productos es la NMX-f-731 (PROFECO, 2011).

A lo largo de los años ha habido importantes estudios con respecto a este derivado lácteo, estudiándose su estructura, composición y principalmente su reología (Velez-Ruiz & Barbosa Canovas, 1997, Benn, 2014).

Se ha estudiado el efecto de la presión en la homogenización y el tiempo de almacenamiento en las propiedades reológicas de crema presentando un comportamiento de tipo pseudoplástico y gel, siendo el módulo elástico mayor al módulo viscoso; su comportamiento de gel fue más pronunciado al aumentar la presión de homogeneización y el modelo de Herschel-Bulkley presentó buenos ajustes al momento de describir su comportamiento (Long *et al.*, 2012).

También, se ha investigado el efecto de la temperatura y la tasa de enfriamiento en las propiedades físicas de crema, estableciéndose que la temperatura de 30 °C y el rápido enfriamiento crearon condiciones convenientes para la formación parcial de una estructura estable; esto fue determinado a través de técnicas de microscopía y reología (Nguyen *et al.*, 2015).

1.2.2. Queso Crema

El Queso es uno de los primeros y más populares productos manufacturados. El queso es una parte importante de los alimentos consumidos en muchos países. Hoy día hay muchos tipos de clasificaciones de quesos, según su origen, proceso o sus propiedades como la textura (Gunasekaran & Ak, 2002).

En contraste con otros quesos, el queso crema no posee una matriz rígida como resultado del mezclado y la homogenización, la ausencia de ésta matriz hace a este queso untable (Velez-Ruiz & Barbosa Canovas, 1997).

Como productos lácteos que son, la grasa que contienen debe ser sólo de leche (puede ser de vaca o de cabra, por ejemplo). Los quesos forman parte de los alimentos que aportan proteínas y fósforo, son ricos en calcio y contienen vitaminas A, D, B2, B3, B12 y ácido fólico. Su valor calórico es variable ya que éste depende primordialmente de la cantidad de proteínas y grasa que contienen. La norma mexicana que los regula es la NMX-F-713-COFOCALEC-2005 (PROFECO, 2007).

En la literatura existen importantes estudios con respecto a este derivado lácteo, estudiándose su reología, estructura, textura y otros parámetros de interés (Sanchez *et al.*, 1995, Lee *et al.*, 2004, Lee *et al.*, 2013, Li *et al.*, 2013).

Se ha estudiado el queso crema como un buen modelo para medir el efecto del procesado y cambios en su formulación en la modificación de la textura del mismo; evaluándose parámetros como la temperatura, pH y la presión de homogeneización y su efecto en las características estructurales, reológicas y sensoriales (Coutouly *et al.*, 2014). También, se ha estudiado el queso crema como modelo variando el contenido

de proteína o grasa. Notando un incremento en la firmeza relacionado con el aumento de la concentración de proteína y su comportamiento reológico pasa de un líquido a un gel débil, en el caso de la grasa no presenta un impacto mayor en las propiedades reológicas del queso crema estudiado, pero sí un efecto al fundirse (Lee *et al.*, 2015).

Por otro lado, se ha estudiado el efecto en las propiedades texturales de quesos untables adicionando mezclas ternarias de fosfato y sales emulsificantes de citrato, también el efecto del pH en estas mezclas; encontrándose cambios significantes por la adición de diferentes tipos de sales y diferentes pH en el parámetro dureza (Salek *et al.*, 2015).

1.3. Pastas Untables

Las pastas o sistemas untables se elaboran realizando mezclas de diferentes tipos de fluidos, lo que le confiere características especiales a su estructura como la adherencia a superficies (Aimaretti *et al.*, 2013).

El estado del arte de los untables está abarcado en gran parte por el estudio de quesos tipos untables, encontrándose gran variedad de estudios como modelo de sistema untable esto para desarrollar productos prebióticos y reducidos en grasas (Rozycki *et al.*, 2010) o estudiar el efecto de la adición de hidrocoloides a los mismos (Ruiz Hernández, 2007); también se ha investigado el efecto del pH en las propiedades reológicas de quesos untables modelos reducidos en grasas (Lee & Klostermeyer, 2001).

Asimismo, existe en la literatura reportes de investigaciones que estudian varios tipos de untables y sus propiedades físicas realizando estudios reológicos (Creep, estudios

dinámicos oscilatorias), como propiedades calorimétricas y texturales y el efecto de la temperatura en la modificación de las mismas (Vithanage *et al.*, 2009). Del mismo modo, se han reportado parámetros reológicos, texturales, y evaluación sensorial de quesos untables y quesos análogos formulados con grasas vegetales (Barraza Carrillo *et al.*, 2002, Cunha *et al.*, 2010).

Aunque el queso abarca muchos estudios en cuanto a untables, también se ha propuesto la formulación de untables no lácteos como untables de soya (Rojas, 2010), untables vegetales a base de harina de grano entero de sorgo y mijo (Aimaretti *et al.*, 2013), untables conteniendo maltitol en reemplazo de azúcar (Petković *et al.*, 2013), untables derivados de la industria pesquera (Cheng *et al.*, 2008) y tipos paté de cerdo (Morales-Irigoyen *et al.*, 2012).

En la literatura científica no existen muchos reportes de este tipos de sistemas untables incorporando fruta; sin embargo, en los años reciente ha habido algunos estudios. En 2008, se obtuvo una pasta untable con nueces de marañón (*Anacardium occidentale* L.) adicionándole antioxidantes como BHA y TBHQ obteniendo buenos resultados a nivel sensorial, pero con propiedades texturales pobres (Alvarez *et al.*, 2008). También, se estudió el efecto de la adición de pulpa de arándanos a queso procesado, disminuyendo el pH haciéndolo favorable para la formación de una estructura de red de caseína, que mejoró su aceptación sensorial (Zhang *et al.*, 2011).

Recientemente, se estudiaron las característica reológicas la sustitución de sacarosa con azúcares como fructosa e isomaltosa en untables de fresa, con comportamientos diferentes al adicionarse los distintos azúcares (Peinado *et al.*, 2012).

1.4. Reología

Es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de los materiales; la influencia del tiempo sobre las propiedades, así como la manera en la cual los materiales responden al esfuerzo o deformación aplicada, la respuesta reológica de un material depende de sus componentes y las interacciones que entre ellos existan (Steffe, 1996).

Las propiedades de flujo influyen en el proceso de desarrollo de productos alimenticios, como son el llenado, mezclado y empaquetado, y determinan su comportamiento (Barnes *et al.*, 1989). Las propiedades reológicas son entre otras, la viscosidad, la elasticidad y los parámetros viscoelásticos, no solo contribuyen al conocimiento de su estructura, también ayudan a la selección de materias primas, en el desarrollo de nuevos productos, en el control de procesos y en el aseguramiento de los atributos aceptables de calidad por el consumidor (Muller, 1973).

Por otro lado, es importante señalar que la reología puede ser utilizada para obtener las características estructurales que se presentan al modificar la composición de los alimentos, ya que la percepción del arreglo estructural del alimento ayuda a predecir el comportamiento y la estabilidad de un material durante el almacenamiento (Velez-Ruiz & Barbosa Canovas, 1997).

1.4.1. Comportamiento de Sólidos y Líquidos

La reología clásica considera que existen dos materiales: el sólido elástico y el flujo viscoso. Un material que sigue a la Ley de Hooke se considera un material con comportamiento de sólido; este tipo de materiales, luego de aplicada una fuerza puede

observarse, en una curva esfuerzo versus deformación, una línea recta que parte del origen. En un material Hookeano, no hay flujo y son linealmente elásticos, es decir, el esfuerzo se mantiene constante hasta que la deformación se suspende y el material regresa a su forma original (Steffe, 1996).

La Ley de Hooke se define como:

$$\sigma = G * \gamma \quad (1)$$

Donde G es el módulo de cizalla, σ es el esfuerzo de cizalla, γ es la deformación. En un material líquido, el esfuerzo de cizalla es directamente proporcional a la velocidad de cizalla y la viscosidad representa la constante de proporcionalidad para un fluido Newtoniano (Barnes *et al.*, 1989).

Para relacionar el esfuerzo y la velocidad de deformación en fluidos se utiliza la ecuación de Newton, en relación a la viscosidad:

$$\eta = \sigma / \dot{\gamma} \quad (2)$$

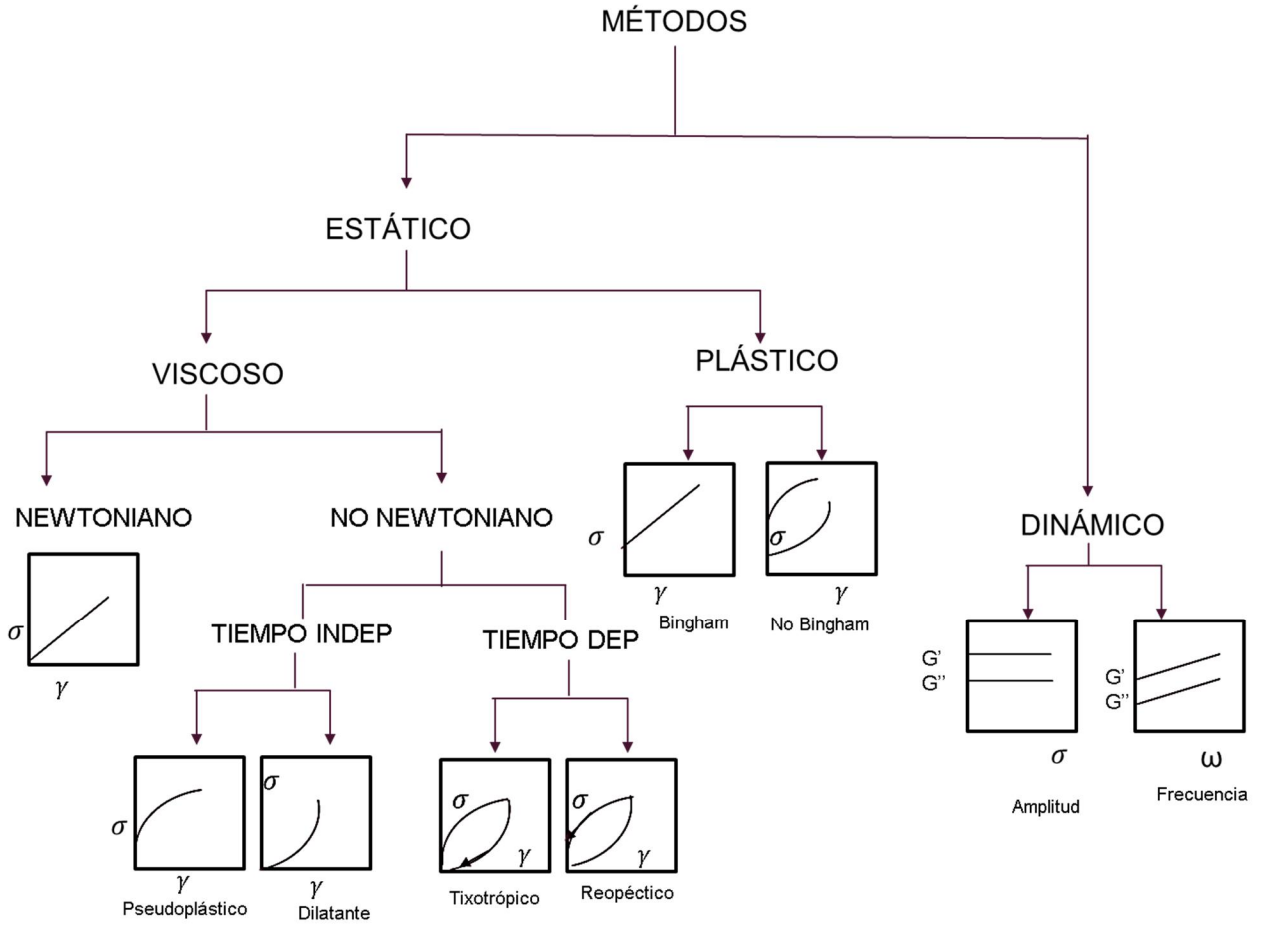
Donde η es la viscosidad aparente, σ es el esfuerzo de cizalla, $\dot{\gamma}$ es la velocidad de cizalla. La mayoría de los alimentos presentan un comportamiento que no se comporta ni como sólido ni como líquido propiamente, estos se denominan viscoelásticos; en un material viscoelástico coexisten las propiedades viscosas y elásticas (Barnes *et al.*, 1989).

1.4.2. Tipos de Comportamiento al Flujo

El comportamiento de fluidos se basa en el sometimiento de un esfuerzo externo y dependiendo de su respuesta puede ser viscoso o plástico. El flujo viscoso a su vez puede ser de comportamiento Newtoniano o no Newtoniano. Los de tipo Newtonianos son aquellas que su relación esfuerzo y velocidad de cizalla es lineal y con origen en 0; en los cuales su viscosidad es constante independientemente del esfuerzo aplicado, para los no Newtonianos esta relación no es lineal, para estos, la viscosidad aparente es el cociente entre estas dos magnitudes y cambia con el gradiente de velocidad. Los fluidos no Newtonianos a su vez pueden ser clasificados con respecto al tiempo en dependientes o independientes del tiempo. Los dependientes del tiempo pueden ser reopécticos o tixotrópicos y los independientes del tiempo a su vez, pueden ser plásticos, pseudoplásticos o dilatantes (Ferry, 1980). En la Figura 1 puede apreciarse esta clasificación de fluidos dependiendo de su comportamiento al flujo, para representarlos se utilizan curvas de flujo o reogramas donde se grafica el esfuerzo versus la velocidad de cizalla.

1.4.3. Modelos Reológicos

Para representar el comportamiento del flujo de fluidos usualmente se emplean curvas de flujo o reogramas. Estos tipos de comportamiento pueden ajustarse a diversos modelos matemáticos que han sido utilizados en la caracterización de fluidos alimenticios. El modelo más frecuentemente utilizado para describir este comportamiento es el modelo de Ostwald de Waele o Ley de la Potencia:



(Barraza Carrillo *et al.*, 2002)

Figura 1. Clasificación del comportamiento al flujo dependiendo de la curva de flujo (esfuerzo vs velocidad de cizalla).

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n \quad (3)$$

Donde, σ = Esfuerzo cortante; $\dot{\gamma}$ = velocidad de cizalla; n = Índice de comportamiento al flujo; K = Coeficiente de consistencia. Este modelo es apropiado para la mayoría de los fluidos en alimentos.

También existen otros modelos frecuentemente empleados en la caracterización de fluidos alimentarios, se muestran en la Tabla 4, dependiendo de la naturaleza de la muestra y su respuesta al esfuerzo aplicado se seleccionará el modelo que mejor represente a los datos experimentales obtenidos.

Tabla 4. Modelos matemáticos reológicos

Modelo	Parámetros
Modelo de Newton	$\sigma = \eta * \dot{\gamma} \quad (4)$
Plástico de Bingham	$\sigma = \sigma_o + \eta_p + \dot{\gamma} \quad (5)$
Herschel – Bulkley	$\sigma = \sigma_o + K(\dot{\gamma})^n \quad (6)$
Casson	$\sigma^{0.5} = \sigma_o^{0.5} + (\eta * \dot{\gamma})^{0.5} \quad (7)$
Sisko	$\eta = K_s * \dot{\gamma}^{n_s-1} + \eta_\infty \quad (8)$
Cross	$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_o - \eta_\infty}{1 + K_c(\dot{\gamma})^n} \quad (9)$
Bird-Carreau	$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_o - \eta_\infty}{[1 + K_{BC}(\dot{\gamma})^2]^{(n-1)/2}} \quad (10)$

1.4.4. Viscoelasticidad

La mayoría de los materiales presentan una componente viscosa y otra elástica, a este tipo de materiales se les conoce como viscoelásticos. Un material viscoelástico se caracteriza por presentar una estructura tridimensional que se deforma por la aplicación de un esfuerzo externo y se recuperará después de retirado el esfuerzo; si hay recuperación completa el material es elástico, por lo que su estructura es más resistente a la ruptura, ya que toda la energía de la deformación es almacenada lo cual puede ayudar a la completa recuperación del sistema; si no hay recuperación, el material es viscoso; es decir, su estructura se rompe más fácil, debido a que toda la energía requerida para producir la deformación se disipa en forma de calor (Physica, 1993, Steffe, 1996).

Las propiedades viscoelásticas de un material pueden ser descritas por la viscoelasticidad lineal y la no lineal. Las propiedades de un material viscoelástico lineal se basan en el principio de Boltzmann, en el que la deformación depende sólo del tiempo y no de la magnitud del esfuerzo (Barnes *et al.*, 1989). Sin embargo, el comportamiento no lineal de las propiedades viscoelásticas del material es función del tiempo, de la magnitud del esfuerzo y de la deformación aplicada; estos tienen complejidad teórica y matemática por lo cual la mayor parte de los estudios y experimentales se han desarrollado en la región lineal (Muller, 1973, Ferry, 1980, Velez-Ruiz & Barbosa Canovas, 1997). La teoría de la viscoelasticidad está desarrollada para pequeños esfuerzos de deformación, zona denominada Zona Viscoelástica Lineal (ZVL), estudios fuera de este intervalo induce cambios irreversibles en la estructura en materiales viscoelásticos (Shoemaker *et al.*, 1992).

1.4.5. Métodos Experimentales

El comportamiento viscoelástico se estudia y caracteriza a través de la realización de estudios dinámicos y estáticos (Núñez-Santiago *et al.*, 2001).

En los estudios dinámicos, el material es sometido a una deformación oscilatoria continua de tipo sinusoidal, a una frecuencia y amplitud en función del tiempo. Por medio de estos estudios dinámicos, es posible obtener parámetros que permiten determinar las propiedades viscoelásticas; como son, módulo de almacenamiento, energía relacionada con la componente elástica (G') y el módulo de pérdida relacionado con la componente viscosa (G''). Otros parámetros utilizados para describir el comportamiento viscoelástico son la tangente del ángulo de desfase (δ), la viscosidad compleja (η^*) y el módulo complejo (G^*) (Ferry, 1980, Clark & Ross-Murphy, 1987, Steffe, 1996). Cuando el módulo de almacenamiento y el módulo de pérdida se grafican como una función de la frecuencia se le conoce como “espectro mecánico”, este puede representar si es un gel fuerte, un gel débil o una disolución macromolecular (Clark & Ross-Murphy, 1987).

Con respecto a los métodos estáticos se utilizan modelos mecánicos análogos para determinar el comportamiento viscoelástico de algunos materiales, compuestos de un resorte y un pistón. El resorte es considerado como elemento sólido ideal obedeciendo la Ley de Hooke y el pistón es considerado como elemento de un fluido ideal obedeciendo a la Ley de Newton (Muller, 1973). El resorte y pistón según el modelo considerado pueden estar conectados de distintas formas para describir el comportamiento de estos materiales. Los más representativos y utilizados son el

modelo de Maxwell, el de Kelvin-Voig y el de Burgers (Ferry, 1980, Velez-Ruiz & Barbosa Canovas, 1997).

1.4.5.1. Pruebas Dinámicas Oscilatorias

En estos métodos se aplica al material una deformación sinusoidal causando unos niveles de esfuerzo que se transmiten al material, midiéndose la respuesta del material a esta variación. La respuesta del material corresponde a tiempos cortos y el esfuerzo varía sinusoidalmente a una frecuencia (ω) de un ciclo/seg (Hz) (Ferry, 1980). La deformación varía con el tiempo de acuerdo a la siguiente ecuación (Rao, 2014).

$$\gamma = \gamma_0 \text{sen}(\omega t) \quad (11)$$

Donde *sen*, es la función seno de la deformación en función del tiempo, ω es la frecuencia y γ_0 es la amplitud de la deformación dado un esfuerzo (σ). La respuesta del esfuerzo viene dada por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sigma_0 \text{sen}(\omega t + \delta) \quad (12)$$

Donde *sen* es la función seno del esfuerzo en función del tiempo, ω es la frecuencia y σ_0 es la amplitud del esfuerzo. Desarrollando la ecuación 12 se llega a la expresión dada en la ecuación 13:

$$\sigma_0 = \gamma_0 [G' \text{sen}(\omega t) + G'' \cos(\omega t)] \quad (13)$$

Donde G' y G'' son el módulo de almacenamiento y de pérdida, respectivamente. G' es el esfuerzo en fase con la deformación, dividida por la deformación, en una determinación sinusoidal; es una medida de la energía almacenada y recuperada por el material en un ciclo y es un indicador de la componente elástica del material. G'' es

el esfuerzo desfasado 90° con respecto a la deformación en una determinación sinusoidal; es una medida de la energía disipada como calor por el material (Rao, 2014). Ambos módulos están en función de la frecuencia y se pueden expresar en términos de la relación de amplitud (δ / γ) y el ángulo de desfase (δ) (Steffe, 1996, Rao, 2014). De la ecuación 13 desarrollada se obtiene que los módulos están dados por las siguientes ecuaciones:

$$G' = \left[\frac{\sigma_0}{\gamma_0} \right] \cos(\delta) \quad (14)$$

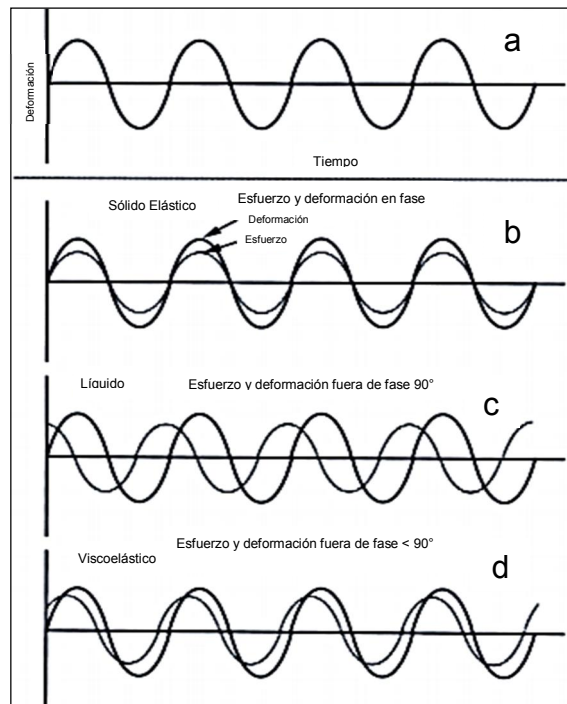
$$G'' = \left[\frac{\sigma_0}{\gamma_0} \right] \sin(\delta) \quad (15)$$

Por lo que:

$$\tan(\delta) = \frac{G''}{G'} \quad (16)$$

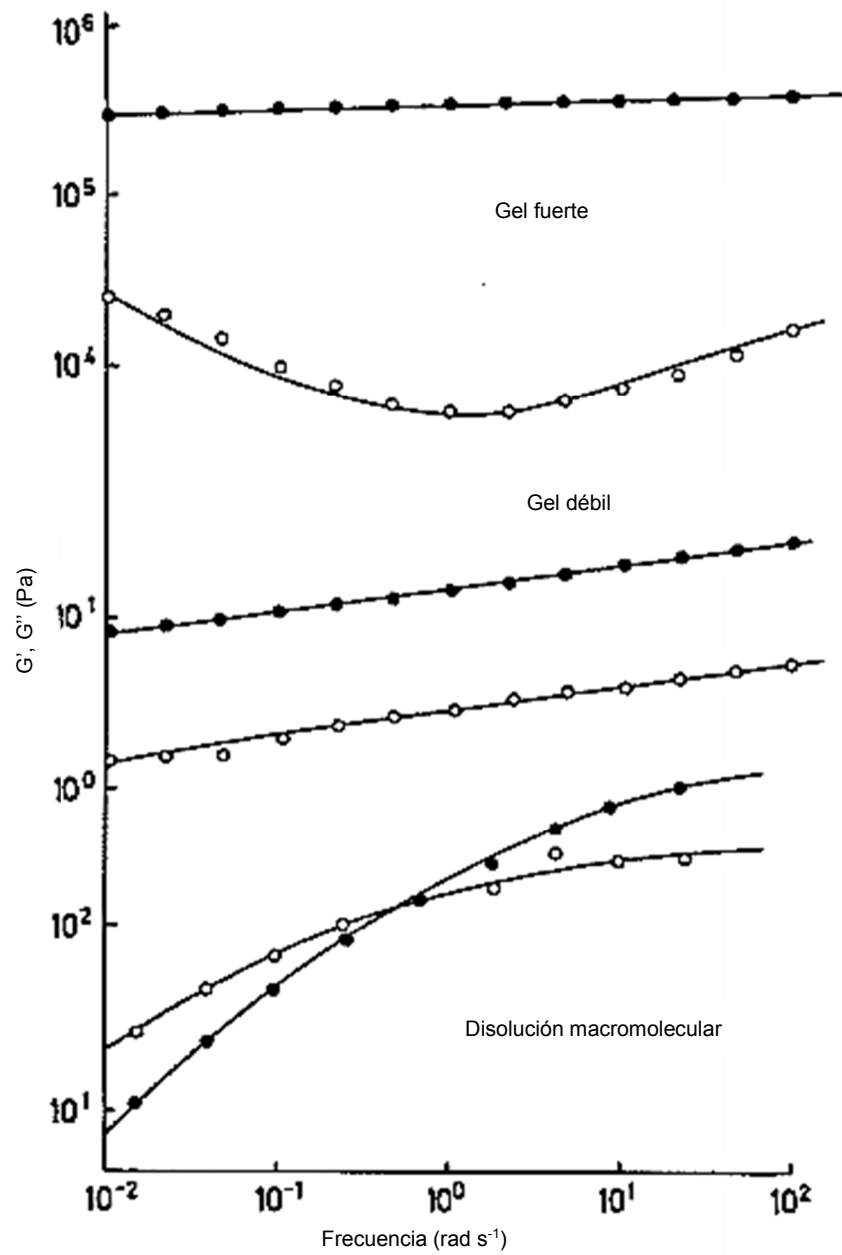
La tangente del ángulo δ indica la relación entre la cantidad de energía disipada y la energía almacenada; es decir, la relación viscosa y elástica de la muestra (Jiménez-Avalos *et al.*, 2005). Para obtener la ZVL (Zona Viscoelástica Lineal) se realiza un barrido amplio o de deformación donde se evalúa la respuesta en un amplio rango de esfuerzos; determinándose los límites del comportamiento viscoelástico lineal. Posteriormente, se somete a la muestra a un barrido de frecuencia ya que el comportamiento viscoso y elástico del material cambia con la velocidad de aplicación del esfuerzo o deformación. En ésta determinación se incrementa la frecuencia, mientras que la amplitud de la señal de entrada (esfuerzo y/o deformación) se mantiene fija (Rao, 2014). En un comportamiento de tipo viscoelástico lineal como el mostrado en la Figura 2, el esfuerzo o deformación oscilará sinusoidalmente pero en fase si el material es un material tipo sólido elástico ($\delta = 0^\circ$), mientras que para un fluido viscoso será $\delta = 90^\circ$; por lo tanto, en los del tipo viscoelástico este valor δ se ubica entre 0 y

90° (Steffe, 1996). La relación de los módulos dinámicos con la frecuencia es una herramienta útil para diferenciar el comportamiento y naturaleza de un material (Clark & Ross-Murphy, 1987, Doublier *et al.*, 1992, Steffe, 1996) han propuesto un comportamiento de disolución diluida ($G'' > G'$ en un intervalo de frecuencia), disolución macromolecular ($G'' > G'$ en un intervalo de frecuencia), gel débil ($G' > G''$ y su dependencia con la frecuencia es casi constante) y un gel fuerte ($G' > G''$ en todo el intervalo de frecuencia) (Figura 3).



(Rao, 2014).

Figura 2. a) Barrido de frecuencia, b) comportamiento de sólido elástico, c) comportamiento de líquido y d) comportamiento viscoelástico.



(Clark & Ross-Murphy, 1987).

Figura 3. Espectro mecánico típico (G' , círculos llenos, G'' círculos vacíos).

1.4.5.2. Estudios estáticos de Creep-compliance

Para los estudios estáticos el método usualmente empleado es la obtención de curvas de Creep. En este tipo de estudios, se aplica un esfuerzo instantáneo a la muestra y se observa el cambio de la deformación en el tiempo; cuando el esfuerzo es suspendido, se observa cierta recuperación intentando el material regresar a su forma original. Esta determinación presenta un comportamiento global del material cuando se encuentra expuesto a ambientes de esfuerzo constante. (Steffe, 1996, Velez-Ruiz & Barbosa Canovas, 1997). Para el estudio del comportamiento viscoelástico se han incorporado elementos que describen los componentes viscoso y elástico de los materiales, que son análogos a modelos mecánicos; para describir el comportamiento sólido elástico ideal se emplea el resorte que se caracteriza por almacenar toda la energía y obedece a la Ley de Hooke. En el caso del comportamiento líquido viscoso que obedece a la Ley de Newton se emplea un amortiguador o pistón que disipa toda la energía. (Barnes *et al.*, 1989, Sahin & Sumnu, 2006). Los datos son generalmente analizados en términos de compliance (J) establecidos por la siguiente relación (Steffe, 1996, Rao, 2014):

$$J(t, \sigma) = \frac{\gamma}{\sigma} \quad (17)$$

Donde, J es la compliance, t es el tiempo, σ es el esfuerzo aplicado (constante), γ es la deformación. La combinación de estos parámetros permite obtener diferentes modelos mecánicos. Así, cuando dos elementos están conectados en serie representan al modelo de Maxwell; lo cual sugiere que al aplicarse el mismo esfuerzo no se deforma de igual manera, pudiéndose deformarse antes o después de fluir.

(Velez-Ruiz & Barbosa Canovas, 1997). Por lo tanto, la deformación será igual a la suma de las deformaciones en cada elemento y derivando con respecto al tiempo, considerando la Ley de Hooke para el resorte y la Ley de Newton para el amortiguador, se tiene la expresión:

$$\sigma + \lambda_{ret} \left(\frac{d\sigma}{dt} \right) = \eta \dot{\gamma} \quad (18)$$

Donde $\dot{\gamma}$ es la deformación instantánea o velocidad de cizalla (derivada con respecto al tiempo), σ es el esfuerzo, λ_{ret} es el tiempo de retardo y η es la viscosidad. La ecuación 19 en términos de compliancia, se expresa como:

$$J = J_0 + t/\eta_N \quad (19)$$

Por su parte, el modelo de Kelvin-Voigt representa estos elementos en paralelo, lo cual sugiere una misma deformación a la misma velocidad. (Velez-Ruiz & Barbosa Canovas, 1997, Sahin & Sumnu, 2006). Al aplicarse el esfuerzo existe una deformación igual en el resorte y en el amortiguador (Steffe, 1996), obteniéndose una expresión ya diferenciada en función del tiempo:

$$\frac{1}{G} \frac{d\sigma}{dt} = \dot{\gamma} + \left(\frac{d\dot{\gamma}}{dt} \right) \lambda_{ret} \quad (20)$$

Donde $\dot{\gamma}$ es la deformación instantánea o velocidad de cizalla (derivada con respecto al tiempo), σ es el esfuerzo, λ_{ret} es el tiempo de retardo y η es la viscosidad. Este elemento en términos de compliancia se expresa como:

$$J = J_R \left[1 - e^{-t/\lambda_{ret}} \right] \quad (21)$$

Donde J_R es la compliancia retardada, t es tiempo real y λ_{ret} es el tiempo de retardo.

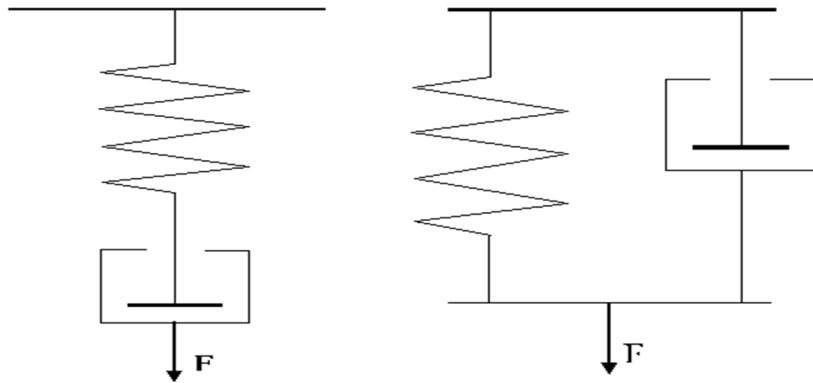


Figura 4. Modelos mecánicos de Maxwell y Kelvin-Voigt.

El modelo universal que describe el fenómeno de Creep es el modelo de Burgers. Este modelo se compone de un único elemento de Maxwell y un elemento continuo de Kelvin-Voigt, es decir, este análogo mecánico muestra una respuesta elástica inicial, debido al resorte libre; un comportamiento elástico retardado que se relaciona con la combinación en paralelo del resorte y el amortiguador, y un flujo Newtoniano después de largos periodos de tiempo, representado por el amortiguador libre (Ferry, 1980, Steffe, 1996, Sahin & Sumnu, 2006).

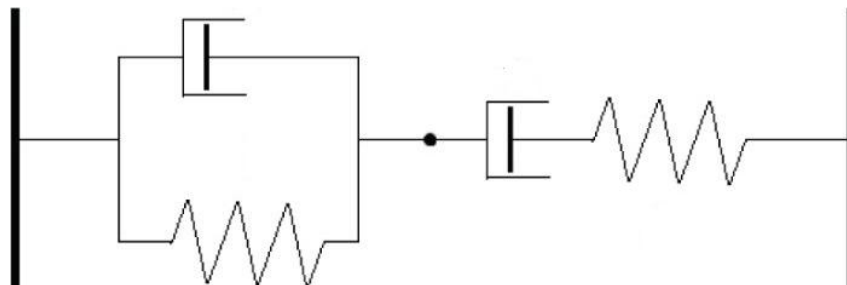
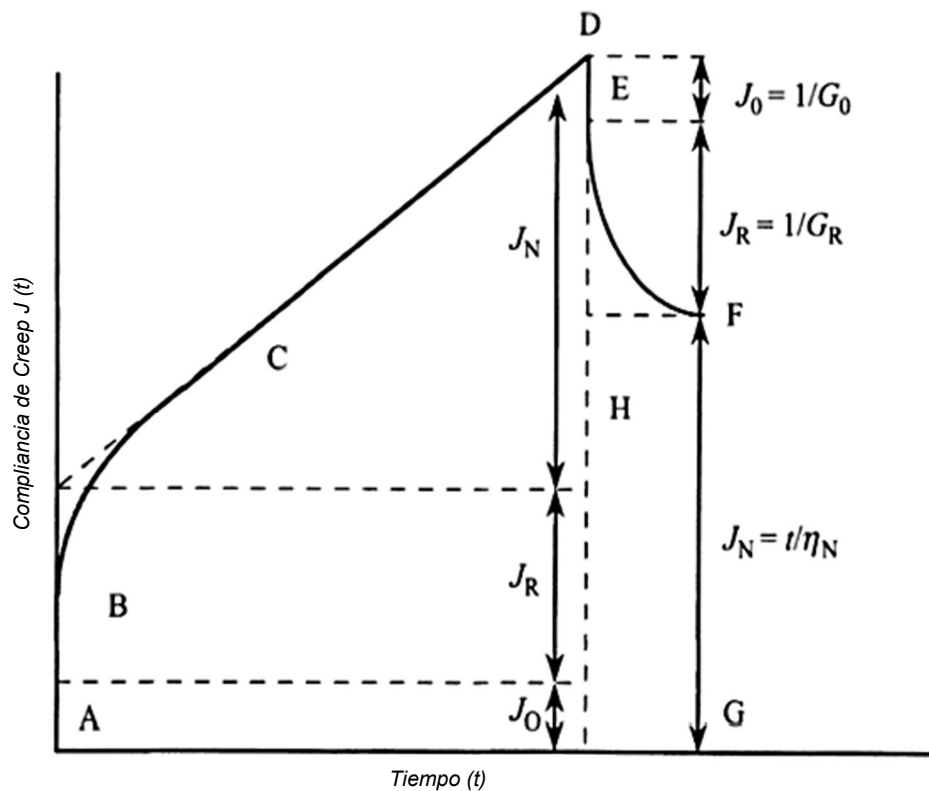


Figura 5. Modelo mecánico de Burgers.

La expresión matemática en términos de compliancia que describe este modelo es:

$$J(t) = J_0 + J_R \left[1 - e^{-t/\lambda_{ret}} \right] + t/\eta_N \quad (22)$$

Donde J es la compliancia en función del tiempo, J_0 es la compliancia instantánea, J_R es la compliancia retardada, λ_{ret} es el tiempo de retardo, t el tiempo del experimento y η_N es la viscosidad Newtoniana. La representación gráfica del modelo de Burgers en una curva de Creep se presenta en la Figura 6, donde se presentan varias regiones.



(Rao, 2014).

Figura 6. Curva típica de Creep para un modelo de Burgers.

Región A-B de compliancia instantánea (J_0), en esta región el material exhibe un comportamiento elástico, de manera que si se retira el esfuerzo antes que se ha alcanzado el punto B la muestra recuperaría su estado original (Rao, 2014). El intervalo de tiempo es corto por esto el esfuerzo tiene que aplicarse instantáneamente. Esta región es definida por el resorte del modelo de Maxwell. La compliancia se relaciona con su módulo correspondiente como: $J_0=1/G_0$, donde G_0 es el modulo elástico instantáneo o también conocido como coeficiente de rigidez.

La región B-C representa la compliancia retardada (J_R). El esfuerzo aplicado por un periodo prolongado, cambia o destruye la estructura interna del material. Después del punto B los enlaces más débiles comienzan a romperse y formarse nuevamente pero con la aplicación continua del esfuerzo en el punto C los enlaces son rotos progresivamente (Rao, 2014). La magnitud del esfuerzo aplicado determinará el grado y velocidad de ruptura. Uno o dos elementos del modelo de Kelvin-Voigt pueden ser utilizados para describir la región elástica retardada.

C-D es la región donde la compliancia aumenta linealmente con el tiempo, representa la compliancia Newtoniana. En esta región se establece un equilibrio en la ruptura de los enlaces, el cual depende del esfuerzo aplicado y está determinado por una viscosidad Newtoniana. Esta región es definida por el amortiguador de Maxwell. Cuando el estrés es removido en D, el patrón sufre una recuperación elástica (D-E). Porque enlaces entre las unidades estructurales se rompen en la región C-D, una parte de la estructura no se recupera (Rao, 2014). La región D-E representa una recuperación elástica instantánea y su valor debe corresponder a AB. Después de esta región de recuperación elástica retardada (EF).

1.5. Perfil de Textura

Además de los parámetros reológicos existen otros métodos para evaluar a los sistemas alimentarios; en este sentido, la textura en alimentos se define como la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y de superficie identificada a través de los sentidos de la visión, audición, tacto y cinestesia (Lawless & Hildegarde, 2010).

En aplicaciones de tecnología de alimentos; el término textura se usa para describir atributos de calidad de los materiales alimenticios, que tienen que ver con la respuesta sensorial al tocar o sentir el material alimenticio, como son la dureza, suavidad, quebradizo o crujiente (Figura & Teixeira, 2007).

La textura puede ser evaluada por métodos sensoriales o instrumentales: los sensoriales se realizan con panelistas entrenados y no son reproducibles. Mientras que los instrumentales sí son reproducibles y demandan menos tiempo (Sahin & Sumnu, 2006).

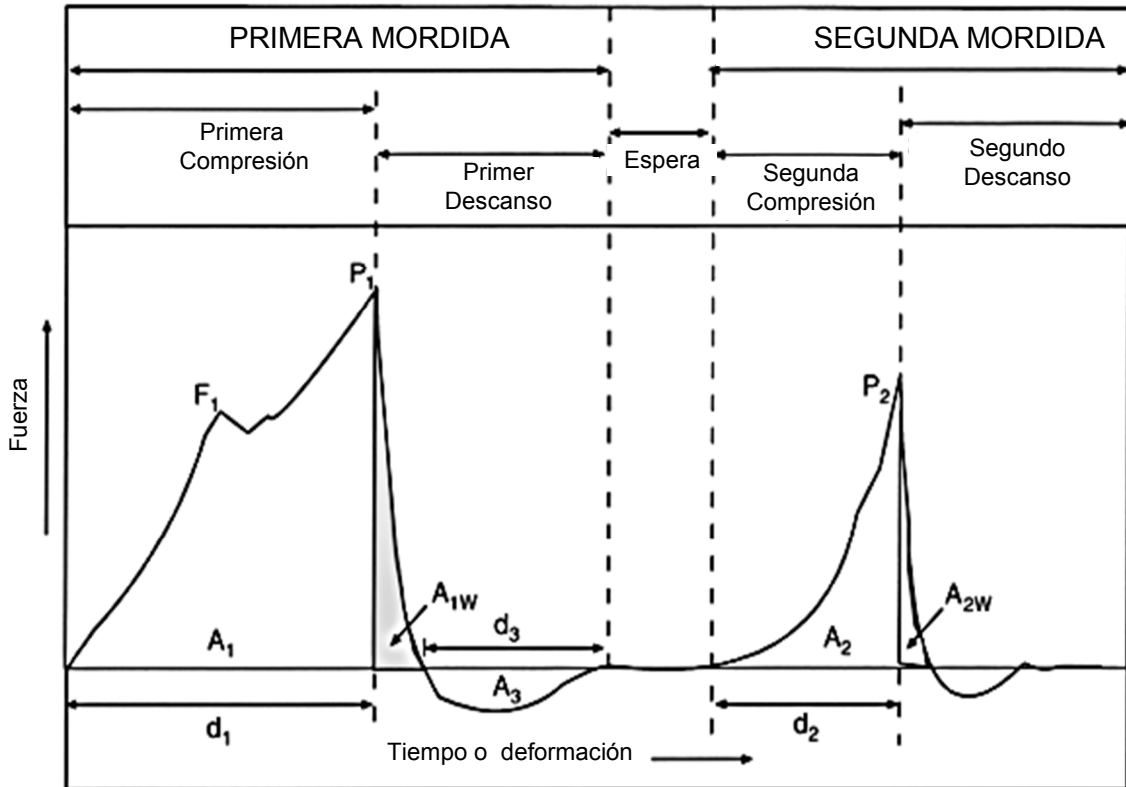
Un análisis de perfil de textura (TPA) consiste de la utilización de instrumentos (texturómetro) en el que una muestra puede estar sujeta a cargas y descargas programadas en un número específico de ciclos. El objetivo de las determinaciones es imitar la masticación de los alimentos o el corte en los procesos de manufactura. En este tipo de estudios, la muestra es sujeta a una serie de deformaciones predeterminadas, en tiempo específico y la respuesta se mide en función de la fuerza contra tiempo (Curva típica TPA, Figura 7) (Figura & Teixeira, 2007). Con la ayuda de herramientas matemáticas se pueden calcular y cuantificar una variedad de

propiedades tales como la dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad, resiliencia, fracturabilidad, entre otras; algunas de éstas herramientas y parámetros se encuentran definidas en la Tabla 5 y en la Figura 7.

Tabla 5. Términos típicos de un análisis de perfil de textura (TPA).

Término (unidad en Sistema Internacional)	Definición	Medida en Curva (Figura 7)
Dureza (N)	Fuerza necesaria para alcanzar una deformación determinada	Fuerza correspondiente a P1
Trabajo de compresión (J ó Ns)	Trabajo necesario para superar la resistencia interna de los enlaces dentro de un alimento	Área correspondiente a A1
Adhesividad (J ó Ns)	Trabajo necesario para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie de otro material con el cual esté en contacto	Área correspondiente a A3
Resiliencia (-)	Medida de qué n el producto “pelea” para recuperar su posición original	A1w/A1
Fracturabilidad o fragilidad (N)	Fuerza de rotura significativa en la curva sobre la primera mordida	Fuerza correspondiente a F1
Cohesividad (-)	Fuerza de enlaces internos que componen al producto	A2/A1
Elasticidad	Distancia recuperada por una muestra durante el tiempo entre el final de la primera mordida y el comienzo de la segunda mordida o velocidad en la cual el material deformado vuelve a su condición no deformada.	d2

- : adimensional



(Gunasekaran & Ak, 2002)

Figura 7. Esquema típico de un análisis de perfil de textura (TPA) con dos mordidas o compresiones, curva fuerza vs tiempo o deformación

El análisis de TPA (Análisis de perfil de textura) proporciona información importante sobre diversos sistemas de estudio y permite elucidar de mejor manera la estructura física de los alimentos. En la literatura se encuentran reportados estudios empleando esta herramienta, muchos de ellos en geles, quesos y sistemas lácteos (Bryant *et al.*, 1995, Pons & Fiszman, 1996, Rosenthal, 1999, Tunick, 2000, Póltorak *et al.*, 2015).

1.6. Antioxidantes

Otro parámetro importante relacionado con el estudio de la zarzamora por su contenido químico es el contenido de antioxidantes. En el organismo humano tienden a generarse especies reactivas como es el caso de las ERO (especies reactivas de oxígeno) como resultado del metabolismo normal, también se está expuesto a radicales libres debido a la exposición a radiaciones gamma y ultravioleta; este tipos de especies son muy reactivas ya que poseen uno o varios de los radicales libres desapareados (Venereo Gutiérrez, 2002). A bajas concentraciones, estas especies tienen un efecto benéfico en el organismo humano, como la relajación de las células del músculo liso y favorecen la actividad mitocondrial normal. Sin embargo, cuando la cantidad sobrepasa los niveles normales pueden tener un efecto dañino, causando la oxidación de macromoléculas como proteínas, ácidos nucleicos y lípidos de membrana, lo cual puede causar diversas patologías y un funcionamiento celular anormal en humanos (Bramley *et al.*, 2000). Se ha considerado que los radicales libres y especies reactivas de oxígeno están involucradas en la patogénesis de cerca de 100 enfermedades diferentes en las que se incluye el cáncer, aterosclerosis, inflamación intestinal y cataratas, entre otros (Yahia, 2010).

El organismo cuenta con diversas líneas endógenas y exógenas de defensa contra estas especies. Dentro de las líneas internas se encuentran las enzimas como la catalasa, glutatión peroxidasa, entre otras, las cuales convierten estas especies en menos dañinas para el organismo (Bramley *et al.*, 2000). En otra línea de acción se encuentran diversas proteínas como la albúmina, ferritina, entre otras; que reducen los niveles de ciertos metales libres como el hierro y el cobre capaces de catalizar la

formación de radicales libres. Finalmente, se destacan diversos antioxidantes provenientes de la dieta de bajo peso molecular, como la vitamina E, carotenoides, compuestos fenólicos, clorofilas, ácido ascórbico, entre otros; estos compuestos tienen la capacidad de reacción con los radicales libres mediante mecanismos que dan lugar a especies químicas menos reactivas y dañinas (Bramley *et al.*, 2000).

El término “antioxidante” últimamente se ha hecho cada vez más popular, encontrándose en la literatura mucha información. En resumen, un antioxidante es una sustancia que cuando está a bajas concentraciones en comparación con el sustrato oxidable retarde o previene la oxidación de dicho sustrato (Álvarez *et al.*, 2012).

Las frutas son ricas en diversos compuestos antioxidantes como compuestos fenólicos o polifenoles, los cuales conforman un amplio grupo de metabolitos secundarios, también son ricos en pigmentos como flavonoides, antocianinas, carotenoides y clorofilas además de contener vitamina C y E; por lo que el consumo de estos se ha relacionado con la disminución del riesgo de padecer enfermedades asociadas a las especies reactivas antes mencionadas. Se ha reportado que muchos antioxidantes dietarios ejercen efectos protectores en el humano, algunos mecanismos de estos aún no han sido desmostados plenamente (Stahl & Sies, 2005).

En este sentido, la zarzamora (*Rubus fruticosus*) es ampliamente reconocida por tener altos contenidos de antocianinas y otros compuestos fenólicos, principalmente flavonoides y elagitaninas, las cuales contribuyen en la alta capacidad antioxidante de este fruto. Los compuestos fenólicos de la zarzamora tienen efectos protectores sobre las enfermedades neurodegenerativas asociadas a la edad y puede inhibir las

lipoproteínas de baja densidad y la oxidación liposomal *in vitro*. Extractos de zarzamora se han encontrado que tienen también efectos antimutagénicos *in vitro* e *in vivo* mediante la modificación de vías de señalización celular y la supresión de factores de promoción (Kaume *et al.*, 2012).

1.7. Actividad Antioxidante y Métodos para su Medición

La capacidad antioxidante evaluada *in vitro* puede usarse como un indicador indirecto de la actividad *in vivo*. La mayoría de los métodos para determinar capacidad antioxidante consisten en acelerar la oxidación en un sistema biológico. La determinación de la actividad antioxidante de los alimentos es importante para predecir el potencial antioxidante *in vitro* de los mismos antes de ser ingeridos; así mismo, permite determinar la protección frente a la oxidación y el deterioro del alimento que disminuye su calidad y valor nutricional (Álvarez *et al.*, 2012).

En los últimos años se han desarrollados diversos métodos para medir la capacidad antioxidante en sistemas biológicos y alimentos. Dependiendo de lo que se quiere medir, se pueden clasificar en: métodos para medición de la capacidad de una sustancia para secuestrar radicales libres y ensayos que permiten evaluar el grado de estrés oxidativo en componentes biológicos como lípidos, proteínas o ADN (Sánchez-Moreno, 2002).

La capacidad antioxidante de un producto alimenticio está determinada por interacciones entre diferentes compuestos con diferentes mecanismos de acción. Por esto mismo, la determinación de la capacidad antioxidante de extractos complejos se

lleva acabo usualmente por diferentes métodos complementarios, que evalúen diversos mecanismos de acción (Thaipong *et al.*, 2006). Algunos de los métodos más utilizados, por su simplicidad y reproducibilidad, son FRAP (Poder antioxidante reductor del hierro, por sus siglas en inglés), DPPH (depleción del óxido 2,2-difenil-1-picrilhydrazil), ABTS (depleción del 2, 2'-Azinobis-3-etil- benzotiazolina-6-acidosulfónico) y el ORAC (capacidad de absorción de radicales oxígeno). Por su facilidad y disponibilidad de reactivas, los más usados son el DPPH y el ABTS, estos, evalúan la capacidad de la muestra para neutralizar radicales libres modelo (Floegel *et al.*, 2011).

1.8. Justificación

En México el cultivo de zarzamora representó una producción de alrededor de 139,803.09 Ton en el año 2013 con un valor de producción de 3, 869,839.82 miles de pesos (SIAP, 2013). Pese a que la producción es buena, el mayor porcentaje del fruto se consume en fresco y debido a su alta humedad que lo hace lábil se presentan muchas pérdidas o mermas del producto alrededor del 30-60%, poco es lo que se aprovecha a nivel industrial, por lo tanto se hace necesario desarrollar procesos que conserven el potencial funcional de fruto permitiendo la obtención de nuevos alimentos con características físicas y funcionales atractivas mejores a las existentes. Por lo que una alternativa para su aprovechamiento es la incorporación en productos lácteos con fines de obtener pastas untables.

Los estudios reológicos son esenciales para evaluar las propiedades físicas de estos sistemas permitiendo optimizar el desarrollo y procesamiento de las mismas. La textura y las propiedades físicas de estas pastas untables se consideran factores de calidad importante para los consumidores por lo que se requiere obtener formulaciones óptimas y evaluar el efecto de la concentración de la pulpa de éste fruto en los sistemas lácteos estudiados.

1.9. Hipótesis

Al incorporar pulpa de zarzamora en los sistemas untables será posible conservar la actividad antioxidante nativa del fruto obteniendo sistemas con características de flujo y deformación controladas

1.10. Objetivos

1.10.1. Objetivo General

Desarrollar un proceso para la obtención y caracterización reológica de pastas untables prototipo incorporando pulpa de zarzamora y evaluación de su capacidad antioxidante.

1.10.2. Objetivos Específicos

1. Acondicionar pulpas de zarzamora para su conservación óptima y desarrollar un método para la obtención de pastas untables con zarzamora en diversos sistemas prototipo (con crema y/o queso tipo untable).
2. Determinar los parámetros de adición de mezclas de componentes en los sistemas prototipo estableciendo una formulación óptima (incorporando azúcar y/o stevia).
3. Caracterizar a nivel reológico estático y dinámico las pastas untables.
4. Evaluar la capacidad antioxidante de las mezclas formuladas.
5. Determinar su calidad nutricional y sensorial.

CAPÍTULO 2:

MATERIALES Y MÉTODOS

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales, Reactivos y Equipos

2.1.1. Materiales

- Crema de leche de vaca y queso crema comercial

Tabla 6. Características, presentación y composición de materias primas lácteas usadas.

Denominación	Presentación	Composición proximal		
		Grasa (%)	Tipo de Grasa	Proteína (%)
Queso crema comercial	190 g	37	Butírica	6
Crema de leche de vaca acidificada pasteurizada	200 ml	30.2	Butírica	2.19

- Zarzamora (*Rubus fruticosus*) (Michoacán, México, cultivos lotes de 2013 y 2014).
- Stevia Bonda © Industrial en polvo (MAGNETIKA SAIFFE, S.A. de C.V.).
- Azúcar comercial (“La joya” Ingenio la Joya S. A. de C.V.).
- Para la mezcla de ingredientes se utilizó un Versa Mixer PL Modelo 2252.
- Procesador de alimentos: Nutribullet™ Modelo NB-101B, 2014.

2.1.2. Reactivos

- Éter etílico, éter de petróleo, sulfato de potasio, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido tricloroacético, azul de metileno (J.T Baker S. A de C. V.).

- Sigma-Aldrich química S.A de C.V: ácido sulfúrico, hidróxido de sodio (pelets), rojo de metilo, Persulfato potásico, ABTS (2, 2'-Azinobis-3-etil- benzotiazolina-6-acidosulfónico), DPPH (óxido 2,2-difenil-1-picrilhydrazil) y TROLOX.

2.1.3. Equipos

- Potenciómetro Modelo 2000 (VWR Scientific).
- Balanza digital electrónica modelo GT410D-0. OHAUS, U.S.A.
- Parrilla de agitación magnética modelo CIMAREC 3. TERMOLYNE USA.
- Termómetro de mercurio para laboratorio, "Broken Thermometers", UK.
- Centrifuga Hettich "Universal/30 RF", D-78532, Tuttlingen, Alemania.
- Analizador de Textura LFRA 4500 (Brookfield Engineering, Middleboro, USA).
- Reómetro Paar Physica modelo LS 100 de bajo esfuerzo, acoplado a un vibraplano de kinectic System modelo 2212-01-11, conectado a una computadora Compaq presario CDS 850 con su software ver. 2.06.
- Sonicador Elma Transonic T460/H (Schalltec, Morteden-Walldorf, Alemania).

2.2. Estrategia Experimental.

El desarrollo de esta investigación constó de tres etapas principales, cada etapa con sus respectivas actividades.

En la primera etapa como primera actividad se establecieron las condiciones de obtención de la pulpa de zarzamora y las mezclas con crema y queso; la segunda actividad consistió en la caracterización estática (comportamiento al flujo) de los componentes individuales y las proporciones planteadas.

En la segunda etapa se realizó la caracterización reológica dinámica (G' , G'' en función de la frecuencia y curvas de Creep) también de los componentes individuales y mezclas.

Asimismo se establecieron las formulaciones de estos sistemas a través de un diseño compuesto central obteniendo parámetros de un análisis de perfil de textura (TPA) e incorporando azúcar y stevia como edulcorantes, evaluando a su vez el efecto de la incorporación de los mismos al sistema.

Finalmente, en la tercera etapa se determinó la composición bromatológica de las pastas untables, se evaluó sensorialmente las formulaciones obtenidas y se evaluó su capacidad antioxidante durante el almacenamiento.

2.3. Métodos

2.3.1. Obtención de la Pulpa de Zarzamora y Mezclas con Crema y Queso

2.3.1.1. Establecimiento de condiciones para el acondicionamiento de la materia prima y obtención de las pastas untables.

La zarzamora (*Rubus fruticosus*) fue adquirida en mercado local (México), cosecha 2014. Se conservó en congelación (-20°C) para su posterior uso en la obtención de muestras. La crema láctea y el queso tipo untable fue obtenido de cadenas de supermercados de marcas comerciales. Para la obtención de la pulpa de zarzamora se descongeló el fruto, se molió usando el procesador de alimentos Nutribullet TM Modelo NB-101B, 2014 y se tamizó en malla de 0.5 mm para separar la pulpa de las semillas.

Para la caracterización reológica se llevaron a cabo mezclas de esta pulpa de zarzamora en tres proporciones: 1:3, 1:1 y 3:1 (%w/w) con crema o queso tipo untable, siendo estas proporciones escogidas por representar una concentración alta, una media y una alta de pulpa de zarzamora en la mezcla. Las muestras se conservan en refrigeración (4°C) y se mantienen en reposo 24 h antes de las determinaciones que fueron llevados a cabo por duplicado.

2.3.2. Análisis Bromatológico de la Pulpa de Zarzamora

2.3.2.1. Determinación de humedad

Se siguió el método reportado por la AOAC 934.01 (2005); consistió en la pérdida de peso por la evaporación del agua a temperatura de ebullición o cerca de ella (98-100°C) durante cinco horas o hasta diferencias mínimas en peso. El porcentaje de humedad está dado por la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{PI-PF}{PI-PC} * 100 \quad (23)$$

Dónde: %H = porcentaje de humedad; PI = peso de la charola con muestra fresca (g); PF= peso de charola con muestra seca (g), PC = peso de charola sin muestra (g).

2.3.2.2. Determinación de cenizas

La determinación de cenizas se refiere al residuo que queda después de la incineración completa de los componentes orgánicos de las muestras, siguiéndose con la metodología propuesta en la AOAC 940.26 (2005). En un crisol a peso constante se pesaron 2 g de muestra fresca o deshidratada, se pre calcinan a fuego directo con mechero, posteriormente se colocaron en mufla CAISA modelo 301M (México) a una temperatura de 550-600°C por espacio de 3-4 horas, se calculó el residuo de incineración por diferencia de peso, de acuerdo a la ecuación 24.

$$\%C = \frac{B-A}{M} * 100 \quad (24)$$

Dónde: %C = porcentaje de cenizas; A = peso del crisol vacío (g); B= peso del crisol con cenizas (g); M = Peso de la muestra (g).

2.3.2.3. Determinación de proteínas

El contenido de proteínas se estimó a partir del contenido de nitrógeno determinado por el procedimiento de Kjeldahl. Este método está basado en la combustión húmeda de la muestra en presencia de ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos. La solución producto de la digestión se hace alcalina y se pasa por un proceso de destilación para liberar el amoníaco que es atrapado y titulado posteriormente. El principio de éste método y su procedimiento se encuentra en la AOAC 920.152 (2005). El cálculo de porcentaje de proteína está dado por la siguiente fórmula:

$$\%PC = \frac{(V_2 - V_1) * eqN * N * 100 * 6,25}{M} \quad (25)$$

Dónde: %N = porcentaje de proteína cruda; V1 = volumen de HCl gastado en titular el blanco (ml); V2= volumen de HCl gastado en titular muestra; N = Normalidad de HCl (0,01 N); M = peso de la muestra (mg).

2.3.2.4. Determinación de extracto etéreo:

El contenido de extracto etéreo (o grasa cruda), se realizó por la metodología propuesta en la AOAC 922.06 (2005), cuantificando aquellos constituyentes lípidos que pueden ser extraídos por disolventes menos polares como las fracciones ligeras de éter dietílico y de petróleo. El porcentaje de extracto etéreo está dado por:

$$\%EE = \frac{B-A}{M} * 100 \quad (26)$$

Dónde: %EE = porcentaje de extracto etéreo; A = matraz a peso constante (g); B= matraz con extracto etéreo (g); M = peso de la muestra (g).

2.3.2.4. Determinación de pH

Para la determinación de pH se utilizó un potenciómetro modelo 2000 (VWR Scientific), siguiendo la técnica de AOAC 981.12 (2005).

2.3.2.5. Determinación de carbohidratos

Determinada por diferencia: %Carbohidratos = %sólidos totales – (%proteínas+ %grasa+ %ceniza). Se siguió la metodología propuesta en la AOAC 986.25 (2005).

2.3.3. Estudios Reológicos.

Los estudios reológicos se llevaron a cabo en un reómetro de bajo esfuerzo, PAAR PHYSICA MODELO LS 100 (Alemania), usando placas paralelas con una geometría PP20 con un diámetro de 10 mm, radio de 5 mm y una apertura entre placas (gap) de 1.5 mm. El reómetro se encuentra sobre una plataforma Vibraplane de Kinetics System modelo 2212-01-11. La temperatura fue controlada por un sistema automático acoplado al reómetro (baño de recirculación de agua Julabo modelo F10) manteniendo una temperatura de 25°C±0.1.

Se realizó un diseño completamente aleatorio donde se estudió el efecto de la adición de pulpa de zarzamora en los sistemas estudiados (crema y queso crema) en las proporciones indicadas. Los datos fueron obtenidos a través del *Software Rheoplus ver 2.06* (acoplado al equipo). Los reogramas y curvas se graficaron con el programa de cómputo SIGMAPLOT ver 12.0®.

2.3.3.1. Estudio Reológico de Cizalla Simple.

El estudio de cizalla simple se realizó en un ciclo ascendente y descendente. La curva ascendente se utilizó para determinar los parámetros reológicos. Se valoró el ajuste de los diversos modelos reológicos previamente mencionados (inicio 1.4.4.) a través del coeficiente de correlación R^2 ; estos fueron calculados empleando hoja de cálculo de Microsoft Excel 2013® y se reportaran los parámetros de los modelos con mejores ajustes. Las áreas bajo la curva para determinar la tixotropía fueron calculadas por regla del trapecio o integrales (Novoa & Ramírez Navas, 2013).

2.3.3.2. Estudio Reológico Oscilatorio de Baja Amplitud y Curva de Creep

2.3.3.2.1. Pruebas dinámicas oscilatorias.

Para establecer la zona de viscoelasticidad lineal de las mezclas y los componentes se realizó un barrido oscilatorio de amplitud para cada sistema estudiado a una temperatura de 25 ± 0.1 °C, 1 Hz y un intervalo oscilatorio de esfuerzos con torques entre 0.001 a 10 mNm. La zona viscoelástica lineal es definida cuando se presente independencia de estos módulos para un esfuerzo oscilatorio determinado, el valor de

esfuerzo fue seleccionado en esta zona. Se obtuvieron las gráficas de módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G'') de acuerdo a los datos experimentales obtenidos. El espectro mecánico de las mezclas se obtiene por un barrido de frecuencia entre 0.1 y 5 Hz, para el esfuerzo oscilatorio seleccionado en la zona viscoelástica lineal. Se evalúa el comportamiento de los parámetros obtenidos (G' , G'' y ángulo de desfase δ en función de la frecuencia que son calculados por el Software del equipo en su ver. 2.06-E.

2.3.3.2.2. Curvas de Creep-relajación.

Se realiza de igual forma en la ZVL. Esta determinación se clasifica en dos fases: Creep y recuperación. El principio del método consiste en la aplicación de un esfuerzo y su subsecuente suspensión para evaluar la recuperación y los parámetros que describen el comportamiento. La muestra es deformada por 250 segundos seguida por una posterior recuperación en otros 250 segundos. Los resultados calculados por el Software acoplado al equipo están en términos de compliancia ajustados al modelo de Burgers (inciso 1.4.5) obteniéndose los parámetros de: compliancia instantánea J_0 (Pa^{-1}), compliancia retardada J_R , tiempo de relajación λ_{ret} y viscosidad Newtoniana η_N , de acuerdo a la ecuación 23. La recuperación del material se calculó por la ecuación reportada por Dolz *et al.* (2008):

$$\% \text{Recuperación} = 100 * \left(\frac{J_{\text{máx}} - J_{\infty}}{J_{\text{máx}}} \right) \quad (27)$$

Dónde $J_{\text{máx}}$ es la compliancia máxima que alcanza cuando el esfuerzo es suspendido y J_{∞} es la compliancia última obtenida.

2.3.4. Análisis de Textura.

Para el análisis de textura se evaluó un diseño completamente aleatorizado donde se estudió el efecto de la adición de pulpa de zarzamora en los sistemas estudiados (crema y queso crema) en las proporciones indicadas.

2.3.4.1. Análisis de Perfil de Textura (TPA).

Se aplicó la metodología reportada por Morales-Irigoyen *et al.* (2012) con una ligera modificación; se usaron vasos de precipitado de 100 mL llenándolos hasta un volumen de 20 mL de las muestras objeto de estudio. Las muestras se analizaron a temperatura ambiente (25°C) y se penetró la superficie 5 mm con una sonda de acrílico de 4 cm de diámetro en un Analizador de Textura LFRA 4500 (Brookfield Engineering, Middleboro, USA) con una velocidad constante de 1 mm/s. Se realizó una sola compresión para cada una de las muestras. La dureza, el trabajo de compresión y la adhesividad fueron calculadas de las curvas de fuerza-deformación, reportándose la dureza (fuerza pico máximo, N), trabajo de compresión (área debajo de la curva de compresión, Ns) y adhesividad (área debajo de la curva de retiro de sonda, Ns) (Morales-Irigoyen *et al.*, 2012).

2.3.4.2. Untabilidad.

Metodología reportada por Morales-Irigoyen *et al.* (2012). Las muestras fueron estudiadas a temperatura ambiente (25°C) y colocadas en cajas de Petri en un área aproximada de 4 cm² y comprimida la superficie en 2 mm, con una velocidad constante de 1 mm/s utilizando una sonda de 7.5 cm de diámetro en el mismo analizador de

textura LFRA 4500. La untabilidad se calculó como el área untada, análoga a la metodología de fusión de queso reportada por Totosaus & Guemes-Vera (2008). Se escaneó la imagen antes y después de la compresión, calculándose ambas áreas en número de píxeles de la ventana Histograma de Adobe Photoshop ver. CS6®. La untabilidad fue reportada como el porcentaje de área (número de píxeles) en relación antes y después de la compresión de la muestra, (Siendo 100% no cambio de área).

$$\text{Cambio de área o untabilidad (\%)} = \frac{\text{Área antes de la compresión}}{\text{Área después de la compresión}} * 100 \quad (28)$$

2.3.5. Optimización de Formulaciones con Crema y Queso

Para la obtención de las formulaciones óptimas se planteó un diseño experimental de compuesto central con tres niveles y tres variables (RadočAj *et al.*, 2011). El diseño experimental y el análisis de los datos experimentales obtenidos fue realizado en el programa Design Expert ® ver-9.0.

Las variables consideradas fueron composición porcentual en la formulación de pulpa de zarzamora, azúcar y stevia (Tabla 7). Se seleccionó el azúcar por ser el edulcorante estándar y stevia por su gran auge en los últimos años y las propiedades benéficas que tiene por ser de origen natural (Goyal *et al.*, 2010, Shah *et al.*, 2010, Gasmalla *et al.*, 2014, Morais *et al.*, 2014, Narayanan *et al.*, 2014, Aidoo *et al.*, 2015), esto, de manera que pueda sustituirse cierto porcentaje de azúcar por otra cantidad de stevia y así formular un producto bajo en calorías.

Para establecer los niveles del diseño se decidió proceder conservando la proporción zarzamora/queso o crema (1:3), de acuerdo a los resultados obtenidos previamente en la caracterización reológica y evaluar además la adición de edulcorantes en las formulaciones de estudio y estudiar el efecto de la adición de estos edulcorantes en los sistemas de estudio. Además, se siguió los niveles sugeridos y equivalencias reportadas por (De Souza *et al.*, 2011, Lisak *et al.*, 2011, Reis *et al.*, 2011), los niveles óptimos se seleccionaron como los puntos centrales del experimento (Figura 8). El diseño consideró 8 puntos factoriales, 6 puntos centrales y 6 puntos axiales, permitiendo 20 unidades experimentales.

El análisis de regresión se realizó con los datos experimentales obtenidos de observaciones por duplicado, teniendo en cuenta las respuestas de Dureza, Tensión de compresión y Adhesividad del Análisis de Perfil de Textura. Las respuestas obtenidas fueron sujetas a regresión no lineal múltiple y la calidad del modelo fue expresado por el coeficiente de determinación R^2 y la significancia estadística fue evaluada usando un valor p con probabilidad $p < 0.05$ del estadístico F.

Tabla 7. Variables independientes y sus niveles empleados en el diseño de compuesto central para la obtención de fórmulas óptimas

Variables independientes	Niveles codificados				
	$-\alpha$ (-1.68)	-1	0	1	$+\alpha$ (1.68)
	Niveles naturales				
%zarzamora	15.2728	18	26	18	28.7271
%stevia	0.0452	0.048	0.056	0.048	0.05872
%azúcar	6.2728	9	17	9	19.72717

Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual

X1 = A: ZARZAMORA
X2 = B: STEVIA
X3 = C: AZUCAR

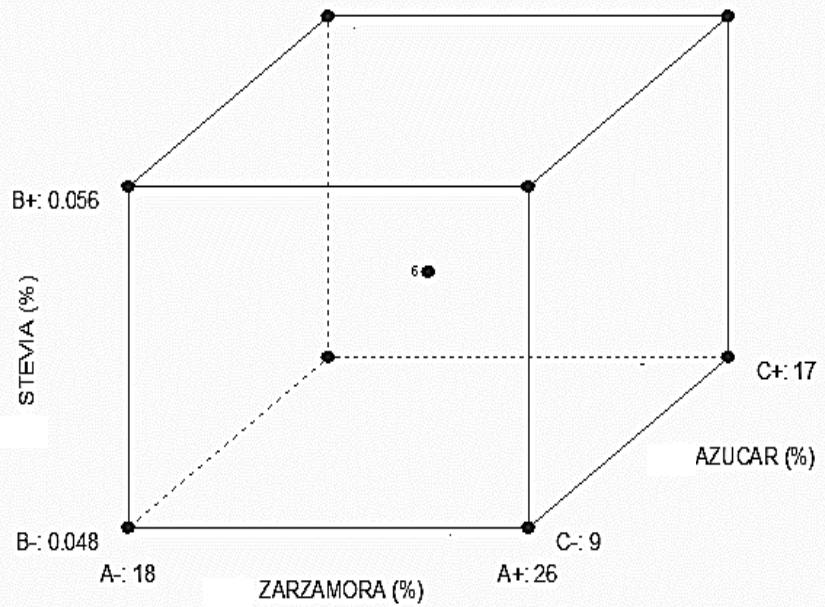


Figura 8. Esquema del diseño de superficie de respuesta para la optimización de las formulaciones de zarzamora con crema y queso crema.

2.3.6. Caracterización Bromatológica de Formulaciones Óptimas

Para la caracterización bromatológica de las formulaciones óptimas se reportan los métodos usados en la Tabla 8.

Tabla 8. Métodos para la caracterización bromatológica de formulaciones

Método	Fuente
Proteína	NMX-F-608-NORMEX-2002
Grasa	NOM-086-SSA1-1994 / NOM-155-SCFI-2003 y NMX-F-490-1999-NORMEX.
Humedad	NOM-243-SSA1-2010 y punto 8.2
Ceniza	NMX-F-094-1984
Carbohidratos	AOAC 986.25. (2005)

2.3.7. Evaluación Sensorial de Formulaciones Óptimas

En el análisis sensorial se evaluó la preferencia de los potenciales consumidores con respecto a las formulaciones óptimas (c/z, formulación óptima de crema con zarzamora incluyendo stevia; q/z, formulación óptima de queso con zarzamora incluyendo stevia) con controles de formulaciones utilizado solo azúcar (c/z-a, formulación crema con zarzamora solo con azúcar; q/z-a, formulación de queso con zarzamora solo con azúcar) y evaluar la sustitución parcial de azúcar por stevia por medio del grado de aceptación o preferencia de las mismas. En la Tabla 9 se presentan las formulaciones de los tratamientos estudiados en la evaluación sensorial, las formulaciones q/z y c/z fueron obtenidas en el inciso 2.3.6. y las de q/z-a y c/z-a resultan del porcentaje de azúcar equivalente a stevia añadido en base a su poder edulcorante, utilizando las mismas equivalencias del incisa 2.3.6 reportadas por De Souza *et al.* (2011), Lisak *et al.* (2011), Reis *et al.* (2011).

Tabla 9. Contenido de edulcorantes de muestras estudiadas en la evaluación sensorial

Tratamientos	%Azúcar	%Stevia
c/z	12.58	0.052
c/z-a	23.08	-
q/z	12.71	0.052
q/z-a	23.08	-

*Dónde, c: crema, q: queso, z: zarzamora, a: azúcar, - : no contiene.

La evaluación sensorial de las muestras se llevó a cabo conforme al método propuesto por Buriti *et al.* (2005), empleando un diseño de bloques completamente al azar usando una prueba de escala de preferencia (Lawless & Hildegarde, 2010). La evaluación sensorial fue llevada a cabo un día después de preparadas las muestras. Los jueces estuvieron conformados por un grupo variado e interdisciplinario de 30 panelistas de ambos sexos y edades entre 25-55 años de edad. La evaluación sensorial se basó en una escala hedónica de 9 puntos (Tabla 10) siendo 1 me disgusta extremadamente y 9 me gusta extremadamente.

Los parámetros seleccionados a evaluar fueron: textura, color, sabor, sabor residual y aceptabilidad global. Las muestras fueron presentadas a los panelistas en vasos libres de olores de tamaño No. 00 con un peso definido (3.5 g) y codificados individualmente (números de tres dígitos aleatorios), se utilizó agua potable para el lavado de la boca entre muestras. Se presentaron cuatro muestras a cada panelista (dos de crema con zarzamora y dos de queso con zarzamora) variando el orden de

entrega. El análisis de los datos obtenidos se realizó en el programa estadístico Minitab ver.17 ® mediante un ANOVA (análisis de varianza) se determinó si existían diferencias significativas entre tratamientos, utilizando el estadístico F de Fisher a un nivel de confianza del 95%.

Tabla 10. Escala hedónica utilizada en la evaluación sensorial.

1	Me disgusta extremadamente
2	Me disgusta mucho
3	Me disgusta moderadamente
4	Me disgusta poco
5	Ni me disgusta ni me gusta
6	Me gusta poco
7	Me gusta moderadamente
8	Me gusta mucho
9	Me gusta extremadamente

2.3.8. Evaluación de la Actividad Antioxidante de Mezclas Óptimas

2.3.8.1. Muestras y extracciones

Para la extracción de antioxidantes de la zarzamora se siguió la metodología sugerida por Pérez-Jiménez *et al.* (2008). A 2 g de pulpa de zarzamora fresca se le adicionó 10 mL de metanol/agua (50:50, v/v) y se agitó vigorosamente en una parrilla de agitación magnética (modelo CIMAREC 3. TERMOLYNE USA) a temperatura ambiente durante 1 h. Posteriormente, es centrifugado a 10000 rpm por 10 min en una centrifuga Hettich

“Universal/30 RF”, D-78532 (Tuttilingen, Alemania) y el sobrenadante es recuperado. 10 mL de acetona/agua (70:30, v/v) se agrega al residuo, repitiéndose la agitación y el centrifugado. Los sobrenadantes se recuperan y se mezclan aforándose el volumen de la disolución con metanol a 25 mL y se conserva en refrigeración (4°C).

Para la preparación de los extractos de agua de queso o crema, se siguieron las metodologías reportadas por Gupta *et al.* (2009) y Zainoldin & Baba (2009) con algunas modificaciones. Se agregó 16 mL de agua destilada a 4 g de las muestras de queso y crema adicionando 300 µL de HCl 1 M y se agitó vigorosamente en una parrilla de agitación magnética durante 1 h. Esta mezcla fue sonicada en un sonicador Elma Transonic T460/H por 5 min, luego se centrifugó a 10000 rpm por 20 min a 4°C, la capa de grasa formada se descarta y el extracto de agua se conserva, este extracto se pasó por papel filtro para retirar cualquier residuo en el sobrenadante, se aforó a 25 mL y se conservó en refrigeración (4°C).

Para la obtención de los extractos de las mezclas de crema y queso con zarzamora se siguió la metodología propuesta por Karaaslan *et al.* (2011) con algunas modificaciones. Se agregaron 16 mL de metanol/agua (50:50, v/v) a 3 g de muestra adicionando 300 µL de HCl 1 M y se agitó vigorosamente durante 1 h. Posteriormente se procedió de igual manera que con los extractos de queso y crema, realizando luego de la centrifugación y filtro, lavados con metanol acidificado (HCl).

Se realizaron extracciones de todas las muestras a los 0, 7 14 y 21 días para evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento en la capacidad antioxidante de los sistemas, las mediciones se hicieron por triplicado.

2.3.8.2. Método del ABTS [Radical catión 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato)].

Se determinó la capacidad antioxidante siguiendo el método de Re *et al.* (1999) con modificaciones propuestas por Pastrana-Bonilla *et al.* (2003). Se utilizó Trolox (análogo de la vitamina E) como antioxidante estándar. El ABTS fue disuelto en agua a una concentración de 7 mM, permitiéndose reaccionar 2.45 mM de persulfato potásico en solución por 16 h en la oscuridad, en esta reacción se formará el radical catión ABTS^{•+}. El radical catiónico obtenido es un compuesto de color verde-azulado, estable y con un espectro de absorción en el UV-visible. El radical catión ABTS^{•+} se diluye hasta obtener una absorbancia de 0.7 (± 0.02) a 734 nm. 1.98 mL del ABTS^{•+} diluido se hacen reaccionar con 20 μ L de los extractos antioxidantes o el estándar (Trolox) en una celda de cuarzo por 7 min, registrándose la absorbancia en este tiempo. El porcentaje de inhibición fue calculado en función de la concentración de antioxidantes y de los datos de Trolox, el estándar de referencia. Para la obtención de la curva de referencia, se ensayó el Trolox en las concentraciones de 300, 600, 900, 1200 y 1500 μ M, obteniéndose una concentración final en la celda de 0, 3, 6, 9, 12 y 15 μ M (siendo el 1% de la solución en la celda). Los datos obtenidos del espectrofotómetro se recolectaron en Microsoft Excel 2013®, por regresión de la curva obtenida de Trolox y los porcentajes de inhibición se establecieron los μ Moles equivalentes de la muestra antioxidante en referencia al Trolox (expresándose los resultados en TEAC por sus siglas en inglés “Trolox Equivalent Antioxidant Capacity” ó μ Moles equivalentes de Trolox/g de fruta fresca).

2.3.8.3. Método del DPPH (2,2- Difenil-1-picrilhidrazilo).

Se utilizó la metodología desarrollada por Brand-Williams *et al.* (1995) con algunas modificaciones sugeridas por Kuskoski *et al.* (2005). Este método se basa en la reducción del radical DPPH• (cromógeno púrpura) a su hidracina correspondiente (DPPH-H, color amarillo) al reaccionar con los extractos antioxidantes. Para esto, se hacen reaccionar 3.9 mL del radical DPPH• 100 μ M (disuelto en metanol) con 0.1 mL la muestra patrón o el estándar (Trolox), la muestra se homogeniza y se mantiene en oscuridad por 30 min. La absorbancia se determina a una longitud de onda de 517 nm. La concentración se calcula a partir de una curva estándar de calibrado obtenida por regresión lineal. Los resultados se expresan en TEAC, o sea, actividad equivalente a Trolox (μ Moles/g de muestra peso fresco). El antioxidante estándar de referencia Trolox se utilizó a una concentración de 200-1000 μ M en disolución con metanol.

2.3.9. Análisis estadístico de los resultados

Los datos reportados en este trabajo corresponden al valor promedio de dos repeticiones y se indica su desviación estándar. El análisis estadístico de los datos obtenidos se llevó a cabo en el software Minitab ver. 17®, realizándose un análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de confianza de 95% ($p < 0.05$) y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

CAPÍTULO 3:
RESULTADOS
Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Composición Proximal de Pulpa de Zarzamora

En la Tabla 11 se presenta la composición proximal del fruto de zarzamora. El fruto tiene un alto contenido de humedad (alrededor del 83%) (Hassimotto *et al.*, 2008a) encontraron en 5 variedades de zarzamora contenidos similares (90.47 a 93.25%). Las diferencias en cuanto a los valores obtenidos y los reportados por otros autores son atribuidos a los estados de madurez, época de recolección del fruto y condiciones de almacenamiento, distribución y conservación (Pántastico, 2004). También se hace una comparación con los valores reportados por la (FAO, 2006) y (Valencia & Guevara, 2013) observándose poca diferencia con respecto a los valores determinados por los otros autores.

Tabla 11. Composición fisicoquímica de la zarzamora (Rubus fruticosus)

	Presente trabajo	FAO (2006)	Valencia-Guevara (2013)
	% BH	% BH	
Humedad	82.69	85.60	82.98
Materia Seca	17.31	14.40	17.02
Proteína	1.37	0.70	0.93
Grasa	0.90	0.60	0
Carbohidratos	14.67	12.60	13.19
Ceniza	0.27	0.50	0.42

- BH: Base Húmeda.

Además, se determinó un pH de 2.86, medido a una temperatura de 25°C. Estos resultados muestran el alto valor biológico y nutricional del fruto, convirtiéndolo en una materia prima adecuada para la elaboración de productos derivados de este, como néctares, cremas, lácteos, entre otros.

3.2. Comportamiento al Flujo de Componentes y Mezclas con Zarzamora

En la Tabla 12 se presenta los parámetros reológicos de viscosidad aparente y tixotropía obtenidos a partir de las determinaciones reológicas realizadas en pulpa de zarzamora, crema, queso crema y mezclas.

No existen muchos reportes en donde se determine la histéresis o tixotropía (calculados del área obtenida entre las dos curvas de flujo: la de ascenso y la de descenso); sin embargo algunos autores concuerdan que en una mayor área de histéresis implica mayor modificación a la estructura debido al esfuerzo aplicado, lo que podría indicar susceptibilidad a la deformación; en otras palabras, es una medida de la capacidad de un fluido de recuperar su estructura cuando es sometido a esfuerzo de cizalla (Amatayakul *et al.*, 2006, Kulkarni *et al.*, 2006, Purwandari *et al.*, 2007).

Estas áreas de histéresis pueden observarse en la Figura 9 para los componentes individuales, en la Figura 10 para las mezclas crema con pulpa de zarzamora y en la Figura 11 para las mezclas de pulpa de zarzamora y queso crema. Puede observarse ésta área de histéresis en todas las muestras estudiadas (ciclo de ascenso-descenso), esto es debido a que existe una disminución de la resistencia estructural durante la

fase de cizalla y la recuperación o reestructuración debido a la etapa de descanso posterior (Velez-Ruiz & Barbosa Canovas, 1997).

En cuanto a los valores obtenidos de ésta área de histéresis se distingue el queso con mayor área obteniéndose un valor de 62247.90 Pas⁻¹, seguida por la zarzamora con 1109.90 Pas⁻¹ y por último la crema con 876.50 Pas⁻¹; esto da un indicio de la complejidad y diferencia de cada sistema estudiado y cómo se reestructura posterior a la aplicación del esfuerzo siendo diferente para cada uno, que viene dado por este valor de área de histéresis.

Los valores obtenidos de tixotropía para mezclas de pulpa de zarzamora con crema fueron de 2354 Pas⁻¹ para c/p (3:1), 4011 Pas⁻¹ para c/p (1:1) y 5241.5 Pas⁻¹ para c/p (1:3). En estas mezclas hubo un aumento en los valores de tixotropía con respecto al componente individual, en este caso crema. Para las mezclas c/p (3:1), c/p (1:1) y c/p (1:3) el aumento fue de 62.8%, 78.2% y 83.3%, respectivamente.

En cuanto a las mezclas de pulpa de zarzamora con queso crema se obtuvieron valores de tixotropía de 25427.8, 10560.1 y 15145.5 Pas⁻¹ para las proporciones q/p (3:1), q/p (1:1) y q/p (1:3), respectivamente. En este caso en las mezclas con queso hubo una disminución de esta área de histéresis, esto pudo deberse a los diversos torques aplicados en las muestras (presentados en la Tabla 12) o la modificación de la estructura del sistema gobernada por la adición de pulpa de zarzamora, estos valores fueron 59.2%, 83% y 75.7% menores para las mezclas de q/p (3:1), q/p (1:1) y q/p (1:3), respectivamente, en comparación con el sistema individual (queso crema).

En los dos casos (mezclas de pulpa de zarzamora con crema y/o queso crema), el comportamiento está determinado por la proporción de pulpa de zarzamora en la mezcla; percibiéndose que, la adición de la pulpa de zarzamora modifica la estructura de los componentes individuales (crema y queso crema), así que, al adicionar mayor proporción de pulpa se obtienen valores mayores o menores de histéresis, por lo tanto mayor modificación de la estructura del sistema y a valores menores de tixotropía provocan en los sistemas cambios estructurales (Barnes et al., 1989, Steffe, 1996).

Además de esto, se presentan los valores de viscosidad aparente (ajustados a la Ley de Newton). La viscosidad es una medida de la resistencia de flujo; es decir, es una medida de la resistencia del material a deformarse continuamente (Barnes et al., 1989). Podemos observar en los valores de viscosidad obtenidos (Tabla 12) que se presentan disminuciones en las mezclas obtenidas con respecto a los componentes individuales, esto puede deberse principalmente a que la adición de la pulpa de zarzamora al interaccionar y modificar el sistema individual disminuye la viscosidad en el sistema o componente individual.

Estas disminuciones, para las mezclas de pulpa de zarzamora con crema con respecto al componente individual (crema) fueron de 2.16, 19.37 y 25.29 veces menor para las mezclas c/z (3:1), c/z (1:1) y c/z (1:3), respectivamente; presentando valores para c/z (3:1) de 5426.5 mPas, c/z (1:1) de 607.5 mPas y de 465.4 mPas para c/z (1:3).

En cuanto a las mezclas de pulpa de zarzamora con queso, las mezclas presentaron valores de 3828, 391.45 y 7026 mPas para q/z (3:1), q/z (1:1) y q/z (1:3), respectivamente; disminuyendo estos valores 3.00, 5.51 y 53.92 veces para q/z (3:1),

q/z (1:1) y q/z (1:3), respectivamente en comparación con el componente individual (queso).

El hecho de que disminuyan los valores de viscosidad aparente en comparación con los sistemas individuales (crema y/o queso crema) al aumentar la concentración de pulpa de zarzamora, indica que existe una relación directa entre estas dos variables. Lo anterior debido a que, al aumentar la concentración de pulpa de zarzamora en las mezclas aumenta el contenido de agua aportado por la pulpa de zarzamora (ver valores de humedad en la Tabla 12) y por lo tanto se disminuye la resistencia a fluir, lo que conlleva a una disminución en la viscosidad (Glicksman, 1982) Observamos que estos valores de porcentaje de humedad disminuyen al aumentar la concentración de pulpa de zarzamora, reportándose valores de 57.24% para c/z (3:1), 72.74% para c/z (1:1) y 84.11% para c/z (1:3). En el caso de las mezclas con queso estos valores van de 57.93%, 76.94% y 81.35% para q/z (3:1), q/z (1:1) y q/z (1:3), respectivamente.

Tabla 12. Valores de tixotropía, viscosidad y pH obtenidos en cada uno de los sistemas

Torque (mNm)	pH (-)	Muestra	Tixotropía (Pas ⁻¹)	η_{ap} (mPas)	%Humedad
0.05-0.15	2.93	Pulpa de zarzamora	1109	1082	82.69
0.05-0.15	4.46	Crema	876	11773	61.00
0.5-0.8	4.50	Queso	62247	21110	54.00
0.05-0.15	3.70	Crema/Pulpa de zarzamora (3:1)	2354	5426	57.24
0.05-0.15	3.32	Crema/Pulpa de zarzamora (1:1)	4017	607	72.74
0.05-0.15	3.05	Crema/Pulpa de zarzamora (1:3)	5241	465	84.11
0.2-0.3	3.80	Queso/Pulpa de Zarzamora (3:1)	25427	7026	57.93
0.1-0.2	3.35	Queso/Pulpa de zarzamora (1:1)	10560	3828	76.94
0.1-0.2	3.09	Queso/Pulpa de zarzamora (1:3)	15145.5	391	81.35

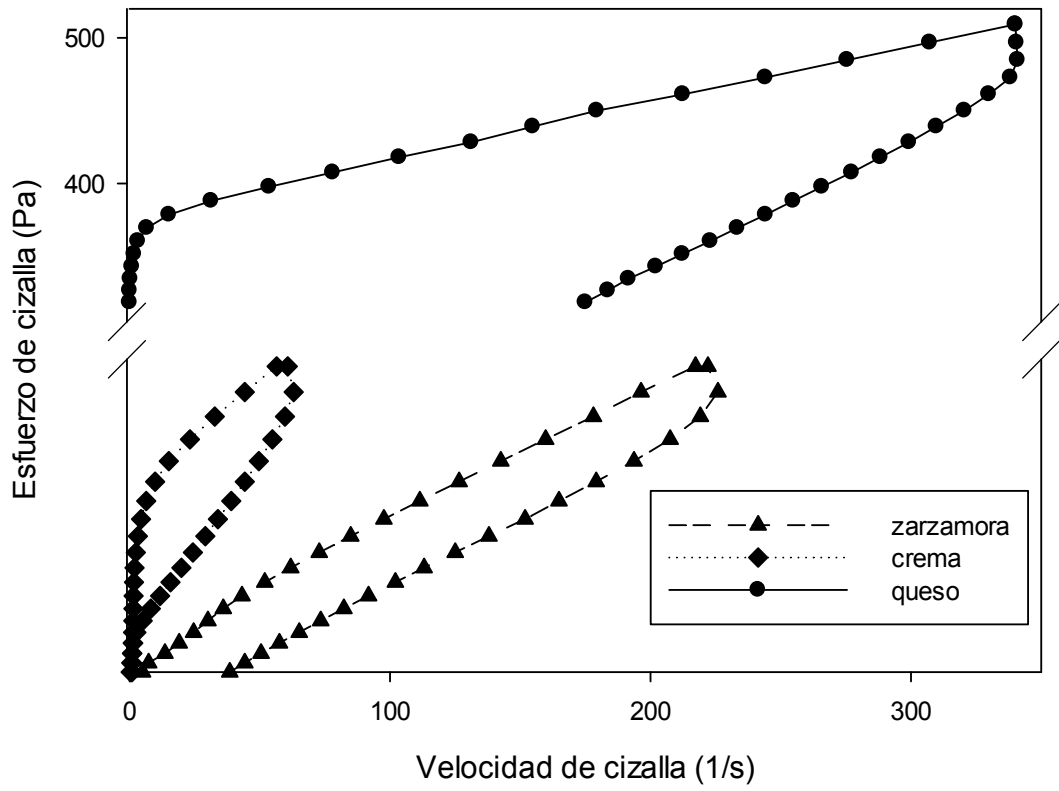


Figura 9. Comportamiento al flujo de componentes individuales

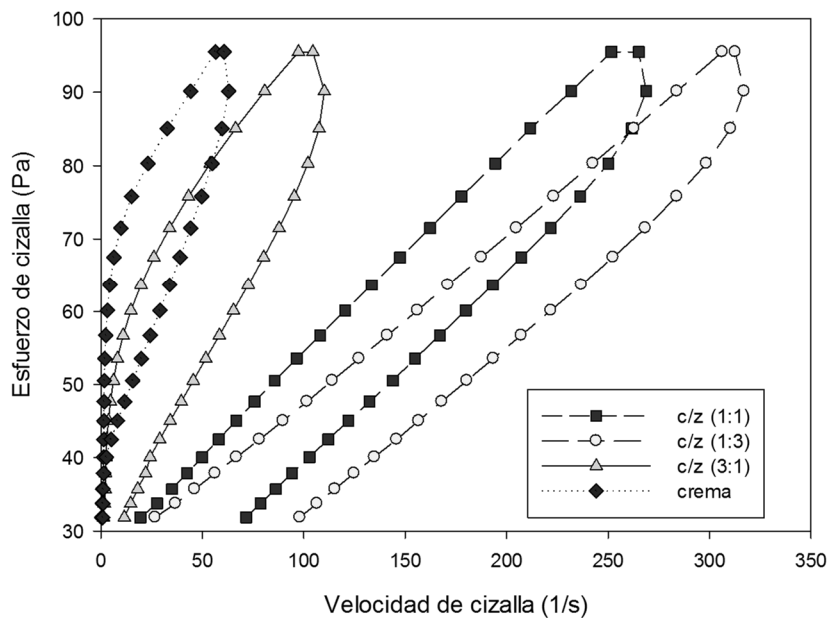


Figura 10. Comportamiento al flujo de pastas untables incorporando crema

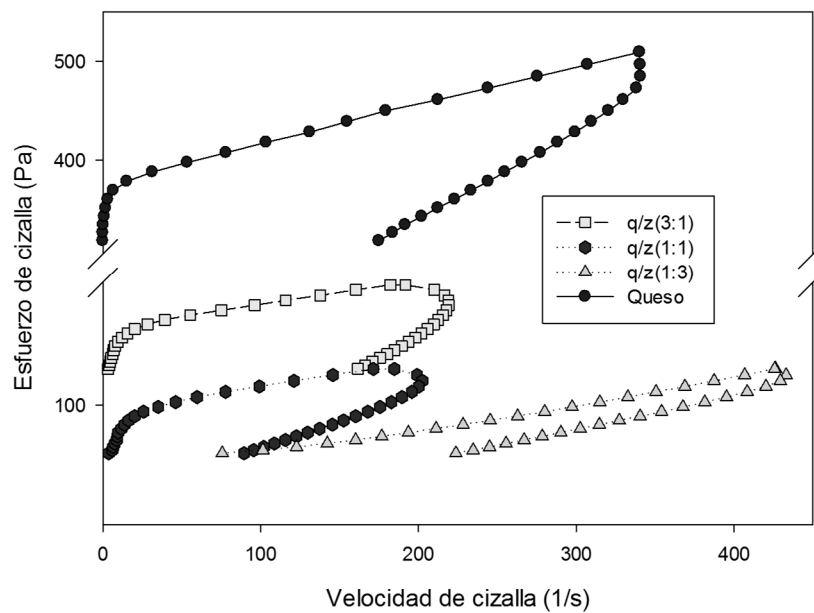


Figura 11. Comportamiento al flujo de pastas untables incorporando queso crema

Con los datos obtenidos de las curvas de flujo en cada uno de los tratamientos se evaluó el ajuste a los diversos modelos matemáticos que explican el comportamiento de los fluidos alimentarios, tal es el caso del modelo de Ostwald o Ley de la Potencia, Bingham, Herschel-Bulkley, entre otros; resultando que el mejor ajuste global fue obtenido con el modelo de Ley de la Potencia ($R^2 > 0.900$). En la Tabla 13 se muestran los valores promedios de los parámetros obtenidos de los diversos componentes y mezclas ajustados a éste modelo.

Para cada muestra en particular hubo algún modelo que se ajustó en mejor medida, estos resultados de ajuste se muestran en el Anexo I. Sin embargo, los aquí reportados para el modelo de Ostwald de Waele fueron considerados para el análisis del efecto de la adición de pulpa de zarzamora, por tener el mejor ajuste para todas las muestras en general ($R^2 > 0.900$), además de presentar los menores valores de desviación estándar, lo que lo hace el mejor modelo en este caso para analizar.

En un análisis de varianza (ANOVA) se obtuvieron diferencias significativas entre los parámetros estudiados (K y n) para un valor α de 95%. Se realizó una prueba Tukey para comparación de medias, los resultados se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Parámetros del modelo de Ostwald de Waele para cada sistema

Muestra	Ostwald de Waele		
	K	n	R ²
	(Pas ⁿ)	(-)	(-)
Zarzamora	16.40 ± 0.0321 ^{d,e}	0.30 ± 0.024 ^{a,b,c}	0.954
Crema	40.54 ± 1.26 ^c	0.23 ± 0.093 ^{a,b,c}	0.933
Queso	349.94 ± 10.6 ^a	0.05 ± 0.010 ^c	0.900
c/z (3:1)	31.36 ± 0.512 ^{c,d}	0.2 ± 0.003 ^{a,b,c}	0.994
c/z (1:1)	7.23 ± 1.83 ^e	0.45 ± 0.048 ^{a,b}	0.976
c/z (1:3)	5.79 ± 0.686 ^e	0.47 ± 0.002 ^{a,b}	0.969
q/z (3:1)	117.47 ± 3.06 ^b	0.09 ± 0.017 ^c	0.984
q/z (1:1)	50.99 ± 9.61 ^c	0.18 ± 0.014 ^{b,c}	0.982
q/z (1:3)	8.72 ± 0.686 ^e	0.43 ± 0.163 ^a	0.949

- Resultados se expresan como valores medios de los resultados obtenidos ± SD.

- Medias que no comparten una letra son significativamente diferentes a p <0.05

- Dónde = Esfuerzo, K= índice de consistencia, n= índice de comportamiento al flujo, R²= Coeficiente de determinación, (-) = adimensional, c = crema, z= pulpa de zarzamora, q = queso.

El índice de comportamiento al flujo y el índice de consistencia son medidas de pseudoplasticidad y viscosidad del material, ambos son parámetros muy utilizados en los diseños de procesos a nivel industrial (Steffe, 1996).

Los valores de índices de comportamiento al flujo (n) del modelo de Ostwald Waele se encuentran en rangos inferiores a la unidad (0.091-0.55), en todos los casos, tanto en los componentes individuales como en las mezclas, por lo tanto presentan un comportamiento no-Newtoniano de tipo pseudoplástico o reofludicante (Steffe, 1996).

También, se observa en las curvas de flujo de todos los sistemas estudiados que la viscosidad disminuyó al aumentar la velocidad de cizalla (entiéndase la viscosidad como la pendiente de la línea recta tangente a la curva), típico comportamiento de los fluidos pseudoplásticos. De acuerdo a Penna *et al.*, (2007) este tipo de comportamiento puede deberse al posible daño estructural que pueda “sufrir” la muestra durante la cizalla; por otro lado, (Koksoy & Kilic, 2004) mencionan que este comportamiento pseudoplástico puede deberse a la orientación que adoptan las moléculas al ser sometidas al cizallamiento permitiendo o no el que fluyan.

El coeficiente de consistencia disminuye al aumentar la concentración de pulpa de zarzamora en todos los casos. En el caso de la crema, los valores de índice de consistencia fueron 31.36, 7.23 y 5.79 Pa.sⁿ para las proporciones 3:1, 1:1 y 1:3 de pulpa de zarzamora y crema. Los valores disminuyeron 1.29, 5.60 y 7.00 veces para c/z (3:1), c/z (1:1) y c/z (1:3), respectivamente, con respecto a la crema (componente individual). Para el caso del queso fueron 117.47, 50.9 y 8.72 para la proporción 3:1, 1:1 y 1:3, respectivamente. En el caso de las mezclas con queso, los valores en comparación con el queso disminuyeron 2.97, 6.87 y 40.13 veces para q/z (3:1), q/z (1:1) y q/z (1:3), respectivamente.

Consecuentemente, el índice de comportamiento al flujo aumentó al aumentar la concentración de zarzamora en los sistemas estudiados; para las mezclas con crema, estos valores estuvieron entre 0.22 y 0.47, para el caso del queso fue más significativa la diferencia estando entre 0.09 y 0.43 (nótese diferencias significativas dadas por las letras presentadas en la Tabla 13).

Este comportamiento de las mezclas de crema y queso con zarzamora y su notable disminución de valores índice de consistencia y viscosidad aparente puede deberse principalmente a un efecto de impedimento estérico provocado por la cantidad de agua y fibra de la pulpa, debilitando posiblemente las interacciones entre las proteínas, grasas y carbohidratos presentes en los sistemas; un resultado similar obtuvo Zhang *et al.* (2011) que evaluó el efecto de la adición de pulpa de arándanos en queso tipo untables, quienes establecieron que al aumentar la concentración de pulpa por encima de 20% en sus sistemas, había una desestabilización de su matriz.

3.3. Comportamiento Viscoelástico de Componentes y Mezclas

3.3.1. Estudios dinámicos y oscilatorios.

En la Tabla 14 se presentan los valores promedio de los módulos de almacenamiento (G') y pérdida (G'') y la $\tan \delta$ en función de la frecuencia (ω) de los componentes individuales (pulpa de zarzamora, crema y queso) y las mezclas de los mismos, además del rango de la ZVL (zona viscoelástica lineal) en la que se realizaron los barridos de frecuencia.

Los valores de G' determinados para la pulpa de zarzamora, crema y queso fueron 511, 2330 y 20300 Pa, respectivamente; encontrándose en este caso que el queso resulta tener la componente elástica mayor, seguida por la crema y por último la pulpa de zarzamora; siendo esta componente elástica 8 y 39 veces mayor que las de crema y pulpa de zarzamora.

En el caso de las mezclas se observó una tendencia a disminuir los valores de G' conforme se aumentó la concentración de pulpa de zarzamora en la mezcla. En el caso de las mezclas con crema estos valores fueron 1150, 303 y 127 para c/z (3:1), c/z (1:1) y c/z (1:3), respectivamente; disminuyendo estos valores 2.02, 7.68 y 18.34 veces para c/z (3:1), c/z (1:1) y c/z (1:3) en referencia al componente individual (crema). En las mezclas con queso los valores reportados fueron 7320, 1110 y 282 para q/z (3:1), q/z (1:1) y q/z (1:3), respectivamente; disminuyendo estos valores 2.77, 18.28 y 71.98 veces para q/z (3:1), q/z (1:1) y q/z (1:3) con respecto al componente individual (queso).

También, se puede apreciar que el comportamiento elástico fue mayor que el viscoso ($G' > G''$) en todas las muestras estudiadas debido a que resultaron mayores los valores de G' con respecto a los de G'' , esto puede ilustrarse de mejor manera en los barridos de frecuencia. En las Figuras 12, 14 y 15 se presentan los barridos de frecuencia de los componentes individuales y las mezclas estudiadas. Este barrido está en términos de frecuencia versus G' y G'' y $\tan \delta$. El módulo de almacenamiento (G'), el módulo de pérdida (G'') y la $\tan \delta$ caracterizan los sistemas en los estudios reológicos dinámicos.

G' es una medida de la energía temporalmente almacenada en una material y G'' es una medida de la energía usada para activar el flujo (Steffe, 1996). El comportamiento obtenido en los barridos de frecuencia indica el comportamiento de tipo gel débil según la clasificación de Clark & Ross-Murphy (1987, esto en todas las muestras estudiadas, donde la energía se almacena y se recupera en cada ciclo de oscilación y poca energía se pierde en forma de calor (Ferry, 1980, Figura & Teixeira, 2007).

Tabla 14. Parámetros del comportamiento viscoelástico de los componentes individuales y pastas untables estudiadas obtenidos en función de la frecuencia.

Muestra	ZVL (mNm)	G' (Pa)		G''(Pa)		tan δ
zarzamora	0.00138-0.00166	511	$\alpha \omega^{0.35}$	140	$\alpha \omega^{0.14}$	0.273
crema	0.00539-0.00553	2330	$\alpha \omega^{0.22}$	529	$\alpha \omega^{0.17}$	0.227
queso	0.0219-0.0269	20300	$\alpha \omega^{0.13}$	4470	$\alpha \omega^{0.09}$	0.220
c/z (3:1)	0.00394-0.00399	1150	$\alpha \omega^{0.27}$	288	$\alpha \omega^{0.20}$	0.250
c/z (1:1)	0.00166-0.00173	303	$\alpha \omega^{0.55}$	83.8	$\alpha \omega^{0.28}$	0.276
c/z (1:3)	0.00361-0.00372	127	$\alpha \omega^{0.87}$	34.5	$\alpha \omega^{0.49}$	0.271
q/z (3:1)	0.00714-0.00791	7320	$\alpha \omega^{0.18}$	1640	$\alpha \omega^{0.14}$	0.224
q/z (1:1)	0.00350-0.00354	1110	$\alpha \omega^{0.23}$	257	$\alpha \omega^{0.14}$	0.231
q/z (1:3)	0.00354-0.00376	282	$\alpha \omega^{0.37}$	68.2	$\alpha \omega^{0.13}$	0.241

- Frecuencia: 1.183 Hz

Las mezclas obtenidas son sistemas heterogéneos donde las proteínas, grasas y carbohidratos son capaces de interactuar entre ellos para formar una estructura organizada típica de un gel con red tridimensional, en la que puede quedar atrapado el medio líquido (usualmente agua) en donde se encuentra inmersa (Clark & Ross-Murphy, 1987). A pesar de esto, es posible afirmar que las mezclas c/z (3:1) y q/z (3:1) son más estructuradas que las otras concentraciones en el rango estudiado; esto, porque presentan valores de G' mayores que las otras mezclas estudiadas, siendo G'

una medida de la energía temporalmente almacenada en una material que después será usada en cierta parte para recuperar su estructura luego de aplicada una deformación, por lo tanto, a esta proporción las redes estructurales son más fuertes, más estables al almacenamiento y a los esfuerzos mecánicos, también puede soportar esfuerzos mayores (Steffe, 1996). Al respecto, Bayarri *et al.* (2010) menciona que cuando los valores de G' y G'' son superiores indican una matriz más fuertemente estructurado, por lo que, las mezclas c/z (3:1) y q/z (3:1) presentan una matriz más estructurada en comparación a las mezclas c/z (1:1), c/z (1:3) y q/z (1:1), q/z (1:3).

Este hecho puede verse reflejado también en el parámetro $\tan \delta$. La $\tan \delta$ y el ángulo de fase indican la relación entre los elementos viscoso y elástico de los sistemas (Jiménez-Avalos *et al.*, 2005). Para este parámetro se presentaron valores menores en c/z (3:1) en comparación a c/z (1:1) y c/z (1:3); siendo éstos valores 0.250, 0.276, 0.271 para c/z (3:1), c/z (1:1) y c/z (1:3), respectivamente. Esta misma situación ocurre en las mezclas de queso con zarzamora, siendo los valores reportados 0.224, 0.231, 0.241 para q/z (3:1), q/z (1:1) y q/z (1:3), respectivamente.

Valores menores indican predominancia de la componente elástica sobre la viscosa (Steffe, 1996). Este autor también menciona que el hecho de observar los cambios en el ángulo de desfase igual a cero, por lo que más cercano del cero se encuentra la $\tan \delta$, mayor comportamiento de sólido presentará.

También, vale la pena destacar que el valor de la $\tan \delta (G''/G')$ en todas las muestras estudiadas se encuentra en un rango entre 0.220-0.276, indicando igualmente que en la matriz de estos sistemas existen enlaces cruzados débiles, clasificándolos en

general como sólidos viscoelásticos además de comportarse como geles (Ferry, 1980). Se ha expresado a los módulos dinámicos como $G' \propto \omega^m$ o $G'' \propto \omega^m$ según el caso, donde m es la pendiente, obtenida por regresión lineal, de los módulos en función de la frecuencia en una gráfica logarítmica, si menor es la dependencia (cerca de cero) el sistema es más estructurado y se comporta como un gel fuerte (Sanchez *et al.*, 2002); este procedimiento fue propuesto por Winter & Chambon, (1986).

Es pertinente resaltar de igual manera, que los valores de m tienden a aumentar conforme aumenta la concentración de pulpa de zarzamora en los dos sistemas estudiados, un aumento en estos valores indican que es más lejano del cero lo cual se percibe como mayor dependencia a la frecuencia y por lo tanto menos estructuración del sistema y más susceptibilidad a la deformación por cizalla o tiempo (Winter & Chambon, 1986). Estos valores fueron 0.27, 0.55 y 0.87 para c/z (3:1), c/z (1:1) y c/z (1:3), respectivamente; 0.20, 0.28 y 0.49 para q/z (3:1), q/z (1:1) y q/z (1:3), respectivamente (Tabla 14).

En la Figura 12 al aplicar el barrido de frecuencia los valores de G' y G'' para queso y crema se comportan prácticamente independientes de la frecuencia, mientras que la zarzamora muestra una ligera dependencia al incrementar la frecuencia, lo que implica que la pulpa de zarzamora es de los tres el sistema menos estructurado. Esta dependencia a la frecuencia de la pulpa de zarzamora puede ser observada también en la Figura 13 en la gráfica de $\tan \delta$ vs frecuencia (ω), observándose que a mayores valores de frecuencia fluctúa en mayor medida sus valores en comparación a los sistemas de crema y queso, los cuales tienden a mantenerse constantes en un valor de frecuencia de 1 Hz. Esta tendencia a la baja del valor de $\tan \delta$ puede interpretarse como un predominio de la componente elástica a mayores frecuencias (en el intervalo

analizado). Por el valor obtenido de la $\tan \delta$, el cual corresponde a un ángulo de desplazamiento entre 15-17°.

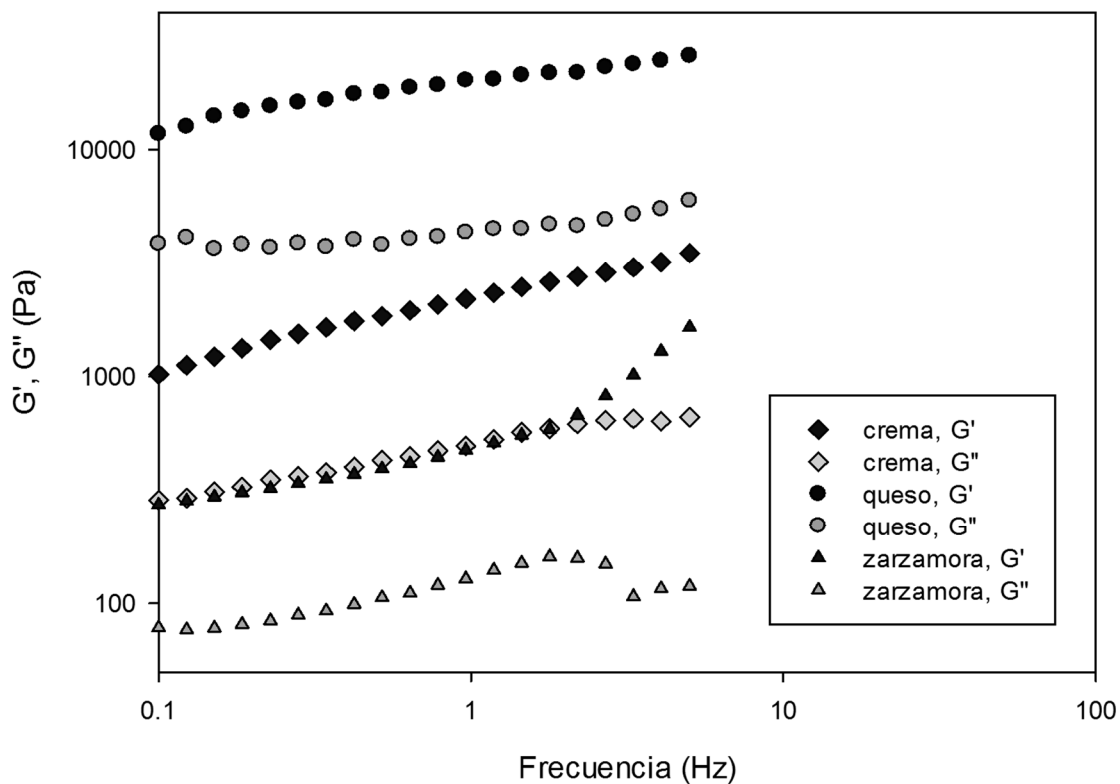


Figura 12. Comportamiento de los módulos de almacenamiento y de pérdida en función de la frecuencia de los componentes individuales (zarzamora, crema, queso).

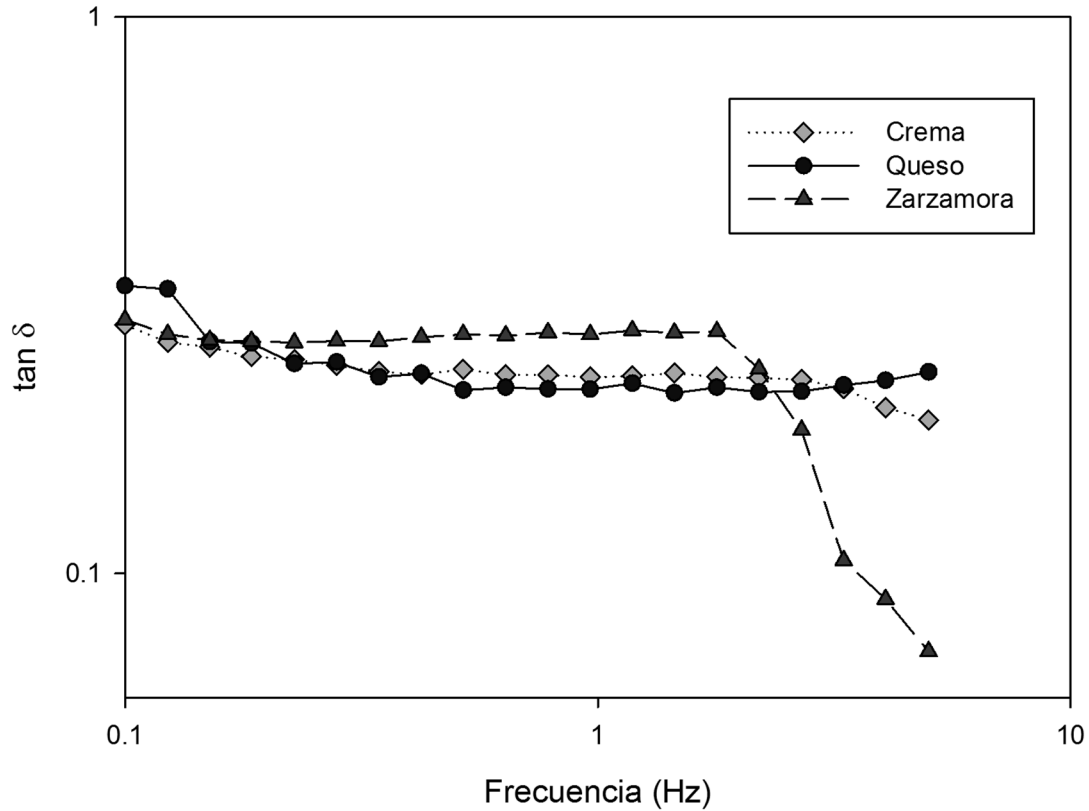


Figura 13. Comportamiento de la $\tan \delta$ en función de la frecuencia en los componentes individuales (zarzamora, crema, queso).

En las Figuras 14 y 15 al aplicar el barrido de frecuencia (ω) los valores de G' y G'' para los sistemas con proporción de crema o queso/pulpa (3:1) se comportan casi independientes de la frecuencia, mientras que al aumentar la concentración de pulpa de zarzamora muestra un ligero incremento de la dependencia al incrementar la frecuencia.

Este comportamiento dependiente del tiempo puede deberse principalmente a que la viscosidad aparente disminuye con el tiempo de cizalla como lo plantea Bellalta et al. (2012). Este comportamiento tiempo dependiente puede observarse también en el

comportamiento de la $\tan \delta$. Esto se observa en las Figuras 16 y 17, los valores de la $\tan \delta$ en los sistemas con más concentración de pulpa [c/z (1:3), c/z (1:1), q/z (1:3) y q/z (1:1)] muestra una dependencia mayor a la frecuencia (en el intervalo estudiado), esto en valores de frecuencia (ω) por encima de 1 Hz, dónde se observa un descenso en el comportamiento de la $\tan \delta$. Caso contrario sucede con las mezclas c/z (3:1) y q/z (3:1) que tienden a mantener sus valores de tangentes constantes incluso por encima de valor de 1 Hz.

Los parámetros antes discutidos (G' , G'' , $\tan \delta$ y m) indican, como antes se mencionó, que la proporción con mejores características viscoelásticas es la 3:1 (c/z y q/z) y que al aumentar la proporción de pulpa de zarzamora en los sistemas individuales (crema y queso) disminuye el carácter viscoelástico de estos sistemas, resultado que respalda lo obtenido en el comportamiento al flujo de las mezclas; esto podría ser influenciado por el contenido de agua aportado por la pulpa de zarzamora que aumenta al incrementarse la proporción de la misma (contenidos de agua reportados en la Tabla 12).

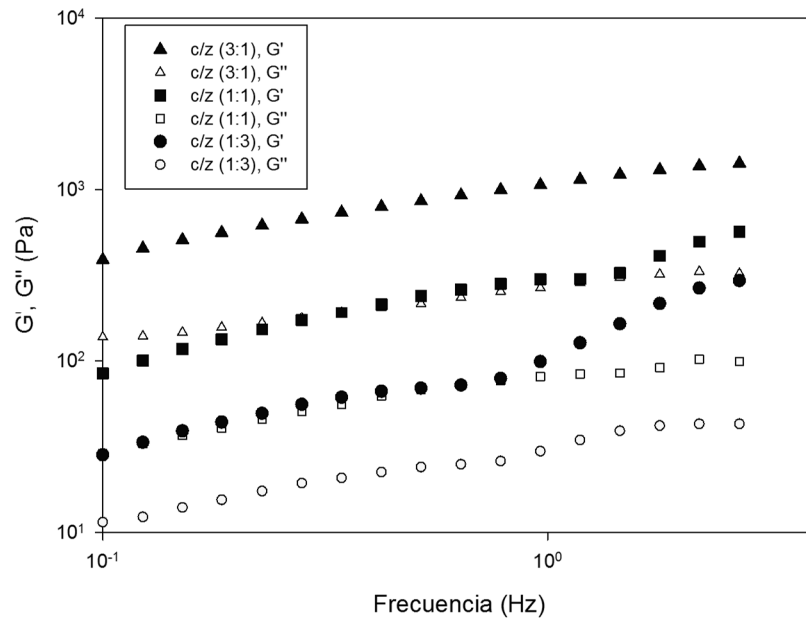


Figura 14. Comportamiento de los módulos de almacenamiento y pérdida en función de la frecuencia (ω) de las pastas untables de zarcamora con crema

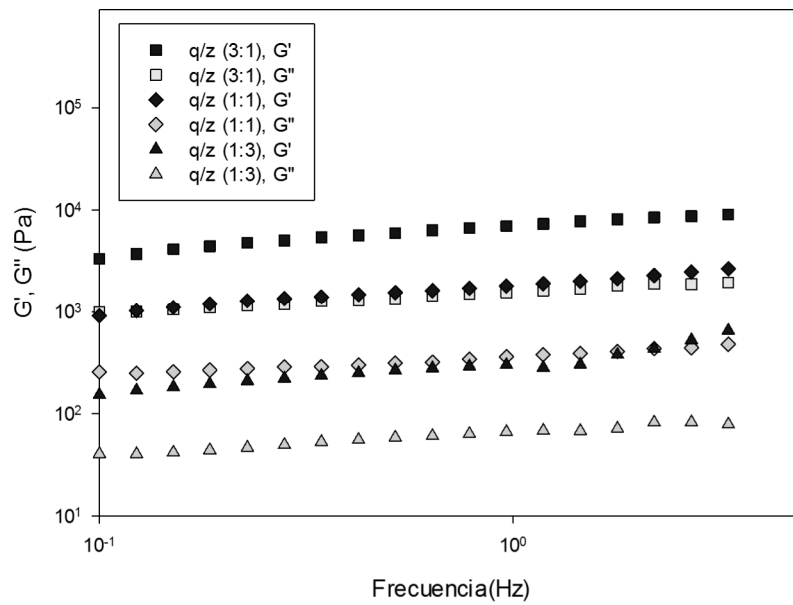


Figura 15. Comportamiento de los módulos de almacenamiento y pérdida en función de la frecuencia (ω) de las pastas untables de zarcamora con queso crema

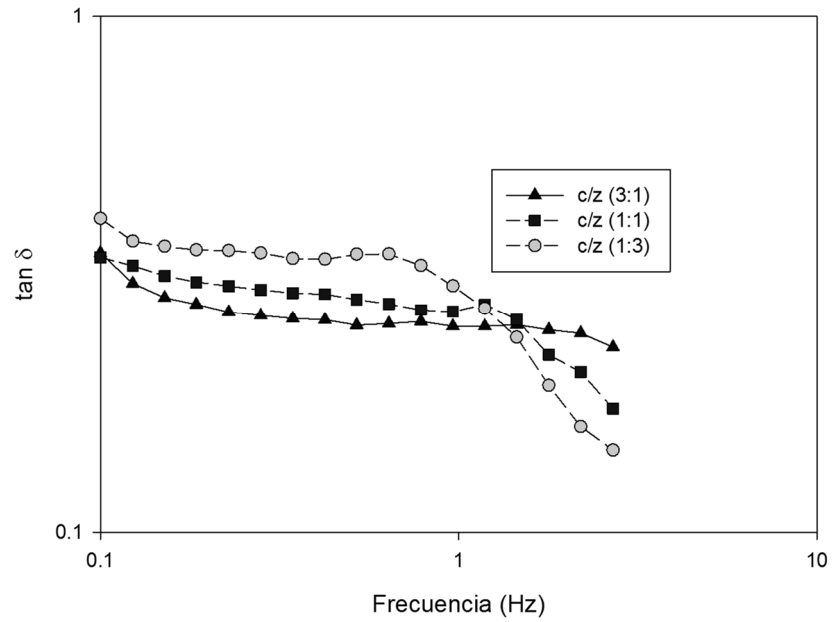


Figura 16. Comportamiento de la $\tan \delta$ en función de la frecuencia (ω) en las pastas untables de pulpa de zarzamora con crema.

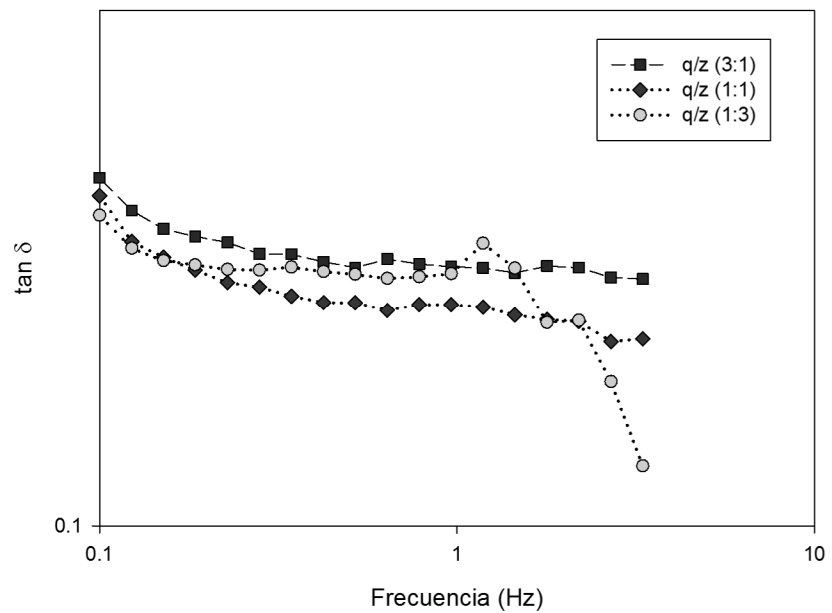


Figura 17. Comportamiento de la $\tan \delta$ en función de la frecuencia (ω) en las pastas untables de pulpa de zarzamora con queso crema.

3.3.2. Curvas de Creep

En las Figuras 18, 19 y 20 se presentan las curvas de Creep obtenidas para todas las muestras estudiadas. En la Tabla 15 se observan los valores promedio de los parámetros obtenidos de las muestras estudiadas: compliancia instantánea (J_0), compliancia retardada (J_R), viscosidad Newtoniana (η_N), porcentaje de recuperación (Rec), tiempo de retardo (λ_{ret}) e índice de rigidez (G_0); dichos parámetros ajustados al modelo de Burgers suelen explicar el carácter viscoelástico de los sistemas (Steffe, 1996). Notamos inicialmente que el modelo de Burgers se ajustó con precisión a todos los datos experimentales ($R^2 > 0.980$).

Para el análisis de los resultados de esta etapa se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) con un valor α de 95%, determinándose para todos los parámetros (J_0 , J_R , η_N , %Rec, λ_{ret} , G_0) diferencias significativas entre las muestras estudiadas, los resultados están en la Tabla 15.

Los valores reportados de compliancia instantánea (J_0) fueron 0.0001, 0.0014 y 0.0092 Pa^{-1} para queso, crema y zarzamora; notándose que el queso presentó el valor menor, seguido por la crema y por último la zarzamora.

Para las mezclas de crema con zarzamora se presentaron valores de 0.0010, 0.0066 y 0.0104 Pa^{-1} para c/z (1:3), c/z (1:1) y c/z (3:1), respectivamente. En cuanto a las pastas untables de queso con zarzamora se reportaron valores de 0.0002, 0.0006 y 0.0082 Pa^{-1} para q/z (1:3), q/z (1:1) y q/z (3:1), respectivamente.

En lo que respecta al parámetro de compliancia retardada (J_R) se presentaron valores de 0.000001, 0.0013 y 0.0030 Pa^{-1} para queso, crema y zarzamora. Para las pastas

untables de crema con zarzamora se presentaron valores de 0.0010, 0.0050 y 0.0091 Pa⁻¹ para c/z (1:3), c/z (1:1) y c/z (3:1), respectivamente. En cuanto a las mezclas de queso con zarzamora se reportaron valores de 0.000001, 0.0006 y 0.0031 Pa⁻¹ para q/z (1:3), q/z (1:1) y q/z (3:1), respectivamente.

En cuanto a los parámetros dinámicos (J_0 y J_R) se observa que al aumentar la concentración de pulpa de zarzamora aumentan los valores de los mismos. J_0 y J_R están relacionados con la deformación elástica de los sistemas, de acuerdo a Kaschta & Schwarzl (1994) menores valores de J_0 y J_R indican mayor elasticidad del sistema. Por lo tanto, en los dos las pastas untables con menores valores reportados fueron c/z (3:1) y q/z (3:1), aumentando sus valores en las pastas untables de c/z (1:1), c/z (1:3) y q/z (1:1), q/z (1:3) en 90.38%, 86.53% y 66.66%, 97.56%, respectivamente.

El inverso de la compliancia instantánea (J_0) es conocido como índice de rigidez (G_0) e indica una magnitud del comportamiento elástico, presentando un descenso al aumentar la concentración de pulpa en las pastas untables; las muestras c/z (3:1) y q/z (3:1) presentan los valores más altos de índice de rigidez (920.8 y 4395.60 Pa, respectivamente); estos valores para las muestras c/z (1:1), c/z (1:3) y q/z (1:1), q/z (1:3) son 6.11, 9.57 y 3.00, 36.14 veces menores en comparación con los de c/z (3:1) y q/z (3:1), respectivamente.

En cuanto a los tiempos de relajación, aunque se presentaron diferencias significativas a un nivel de confianza del 95% variaron sin tendencia alguna; éste, se define como el tiempo requerido para que el esfuerzo aplicado disminuya 1/e (aproximadamente 63.2%) de su valor inicial bajo deformación constante (Steffe, 1996). Las diferencias

significativas vienen dadas por las muestras de crema y c/z (3:1) en los que se obtuvieron valores mayores en comparación a las demás muestras; a pesar de esto, no se nota una tendencia por el efecto de la adición de pulpa de zarzamora.

También, como se observa en las Figuras 18, 19 y 20, las muestras presentan un comportamiento de tipo viscoelástico; esto, porque al retirar la deformación aplicada se presenta cierto porcentaje de recuperación en cada muestra (Steffe, 1996). En lo que respecta a éstos valores de recuperación para las pastas untables con crema fueron 86.2%, 75.1% y 56% para c/z (3:1), c/z (1:1), c/z (1:3); en las pastas untables de pulpa de zarzamora con queso fueron 85%, 84.3% y 66.3%, para q/z (3:1), q/z (1:1), q/z (1:3), respectivamente; observándose una disminución del porcentaje de recuperación al aumentar la concentración por efecto de la pulpa de zarzamora.

En la Tabla 15 se presentan los valores de viscosidad Newtoniana ajustada al modelo de Burgers (η_N). Los valores de viscosidad Newtoniana también disminuyeron al aumentar la concentración de pulpa de zarzamora en las pastas. Para las pastas untables de crema con pulpa de zarzamora, la disminución de estos valores con respecto a la muestra c/z (3:1) fueron 2.49 y 3.89 veces menores para c/z (1:1) y c/z (1:3). Para las pastas untables de queso crema con pulpa de zarzamora, estos valores fueron 1.84 y 21.86 veces menos para c/z (1:1) y c/z (1:3) en comparación con lo obtenido para c/z (3:1).

El aumento de los parámetros de J_0 y J_R , la disminución del G_0 , η_N y %Rec al aumentar la concentración de pulpa de zarzamora en las pastas untables teniendo como sistemas base a crema y queso crema, puede estar relacionado con la mayor

modificación del sistema individual (crema y queso crema). Puede inferirse que este fenómeno sucede debido a que al aumentar la concentración de pulpa de zarzamora, existe una modificación en gran medida de las pastas untables por la adición de mayor contenido de agua y algún posible impedimento estérico que debilita las interacciones proteína-grasa, como reportó Zhang *et al.* (2011) al estudiar mezclas de queso crema con pulpa de arándanos.

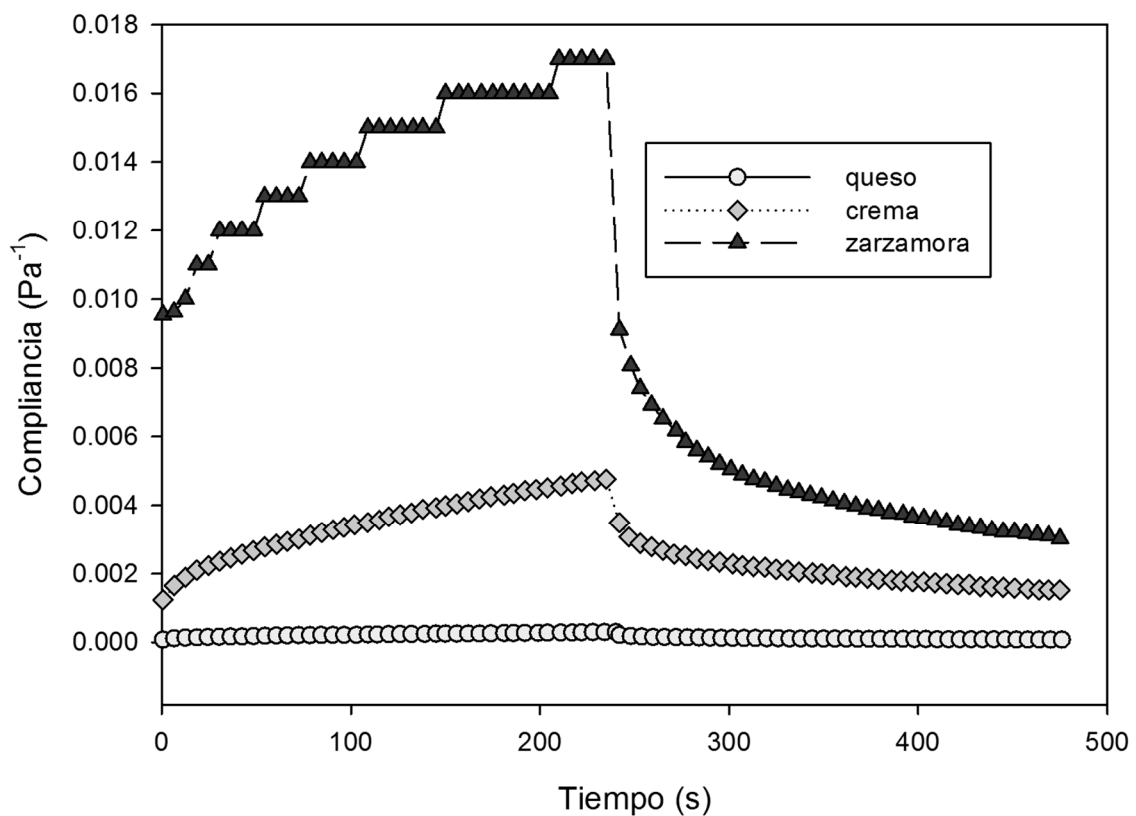


Figura 18. Curvas de Creep de los componentes individuales (queso, crema y zarzamora).

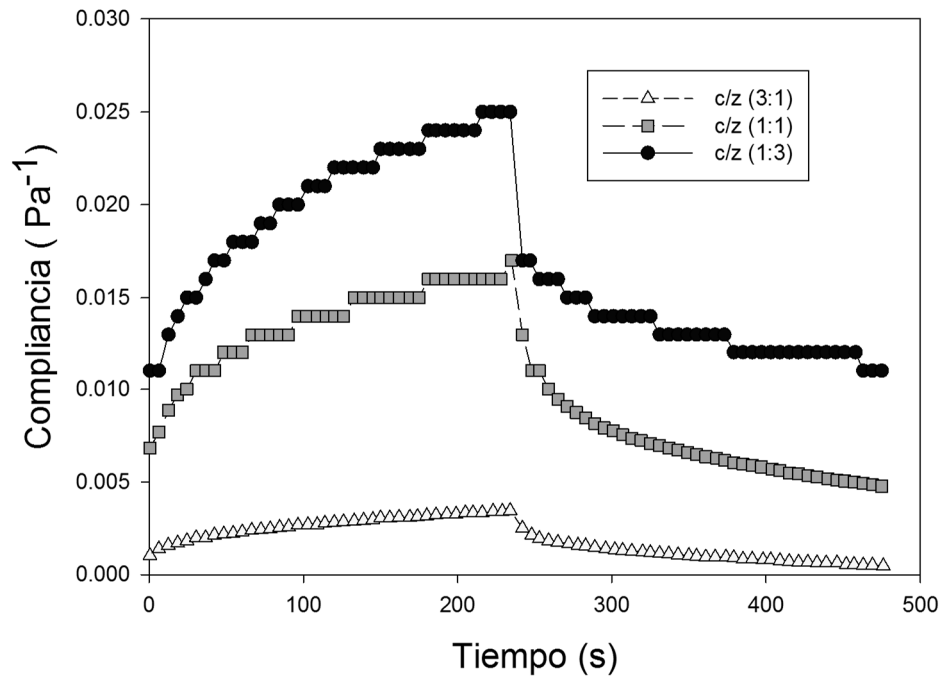


Figura 19. Curvas de Creep de pastas untables de zarzamora y crema.

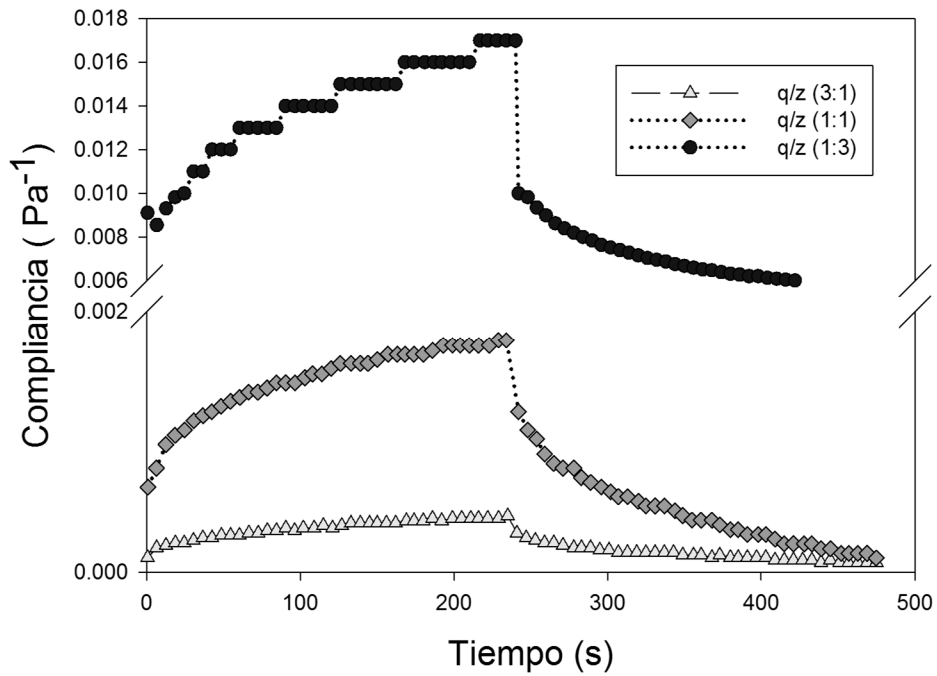


Figura 20. Curvas de Creep de pastas untables de zarzamora y queso crema.

Tabla 15. Parámetros obtenidos por ajuste del método de Burgers en las curvas de Creep.

	Torque mNm	η_N (Pas)	J_o (Pa-1)	J_R (Pa-1)	λ_{ret} (s)	Rec (%)	G_o (Pa)	R^2
zarzamora	0.0033	48830±11052 ^d	0.0092±0.0009 ^b	0.0030±0.0000 ^b	33.52±2.94 ^b	82.2±4.88 ^a	108.2±12.31 ^d	0.980
crema	0.0050	115300±92631 ^d	0.0014±0.0003 ^c	0.0013±0.0001 ^c	51.27±5.65 ^a	68.1±3.00 ^c	703.7±221 ^c	0.997
queso	0.0253	1410000±65761 ^a	0.0001±0.0000 ^c	0.0000±0.0000 ^d	21.87±1.10 ^b	72.4±0.862 ^c	7077.1±732 ^a	0.933
c/z (3:1)	0.0033	166300±67599 ^d	0.0010±0.0001 ^c	0.0010±0.0000 ^c	27.17±3.30 ^b	86.2±7.27 ^b	920.8±104 ^c	0.997
c/z (1:1)	0.0033	46640±17303 ^d	0.0066±0.0012 ^b	0.0050±0.0007 ^b	25.99±1.77 ^b	71.5±6.49 ^b	150.5±74 ^d	0.986
c/z (1:3)	0.0033	42650±3960 ^d	0.0104±0.0031 ^b	0.0091±0.0036 ^a	51.32±1.59 ^a	56.00±1.60 ^a	96.2±11.4 ^d	0.993
q/z (3:1)	0.0058	910700±52750 ^b	0.0002±0.0000 ^c	0.0000±0.0000 ^d	23.46±1.40 ^b	85.0±7.10 ^b	4395.60±187 ^b	0.910
q/z (1:1)	0.0036	493100±91429 ^c	0.0006±0.0001 ^c	0.0006±0.0000 ^c	31.02±1.38 ^b	84.3±2.38 ^a	1464.3±265 ^c	0.994
q/z (1:3)	0.0033	41650±7304 ^d	0.0082±0.0015 ^a	0.0031±0.0008 ^b	29.4 ±4.73 ^b	66.3±3.18 ^d	121.6±31.4 ^d	0.980

- Dónde, η_N : viscosidad Newtoniana, J_o : compliancia instantánea, J_R : compliancia retardada, λ_{re} : tiempo de retardación, Rec: porcentaje de recuperación, G_o : índice de consistencia y R^2 : coeficiente de determinación.

- Resultados se expresan como valores medios de los resultados obtenidos \pm SD.

- Medias que no comparten una letra son significativamente diferentes a $p < 0.05$

3.4. Análisis de Perfil de Textura y Untabilidad

En la Tabla 16 se presenta los parámetros texturales obtenidos de las curvas características de TPA, estos son: Dureza (D), Adhesividad (A) y Tensión de Compresión (TC). Para el análisis de los resultados en esta etapa se realizó un análisis de varianza (ANOVA) obteniendo diferencias significativas entre las muestras de los componentes individuales y pastas untables para todos los parámetros estudiados con un α del 95% (Tabla 16).

Se observa que los valores de dureza presentaron diferencias significativas, presentando el queso un valor superior con respecto a la crema y la zarzamora (15.59, 3.65 y 0.47, respectivamente). La dureza es la fuerza requerida para producir una deformación (Gunasekaran & Ak, 2002), por lo tanto, valores de dureza mayores indican que se necesita mayor fuerza para deformar el material y no fluirá fácilmente hasta alcanzarla, lo que da una idea de la estabilidad del sistema a esfuerzos externos.

En lo que se refiere al parámetro dureza se observaron disminuciones de los valores conforme al aumento de la concentración de pulpa de zarzamora en las pastas untables en comparación con los componentes individuales (crema y queso crema). Para las pastas untables de zarzamora con crema, éstas disminuciones fueron de 62.19, 77.53 y 78.90% para c/z (3:1), c/z (1:1) y c/z (1:3). En cuanto a las pastas untables de pulpa de zarzamora con queso crema las disminuciones fueron 41.53, 72.68 y 75.84% para q/z (3:1), q/z (1:1) y q/z (1:3), en comparación con el sistema individual (queso).

En cuanto al parámetro adhesividad también se presentaron estas disminuciones de los valores al aumentar la concentración de la pulpa de zarzamora en las pastas con respecto a los componentes individuales (crema y queso crema). Esta disminución en las pastas fue de 41.53 y 34.49% para c/z (3:1) y q/z (3:1), 72.68 y 46.73% para c/z (1:1) y q/z (1:1), 74.84 y 84.40% para c/z (1:3) y q/z (1:3), respectivamente; en comparación con los sistemas crema y queso.

Caso similar fue para el trabajo de compresión, las disminuciones de éste parámetro fueron 22.41 y 26.31% para c/z (3:1) y q/z (3:1), 54.00 y 47.00% para c/z (1:1) y q/z (1:1), 118 y 78.32% para c/z (1:3) y q/z (1:3), respectivamente; en comparación con los componentes individuales (crema y queso).

Para la untabilidad, se tomó en cuenta que el área untada fuera visualmente homogénea. Los resultados en porcentaje de área se presentan en la Tabla 16. Aunque se encontraron diferencias significativas, como observamos en los índices de la Tabla 16, sólo hay diferencias significativas como tal entre las muestras de Crema y q/z (1:3), el resto, no presentaron diferencias significativas. A pesar de esto, se puede observar un ligero descenso de los valores al aumentar la concentración de pulpa de zarzamora, éstas disminuciones fueron del orden de 0.85, 0.83 y 0.49 veces para c/z (3:1), c/z (1:1) y c/z (1:3), respectivamente, en comparación a lo obtenido con la crema. Y de 0.89, 0.70 y 0.66 veces menor para q/z (3:1), q/z (1:1) y q/z (1:3), en comparación con el sistema individual (queso).

Lo anterior, se ilustra de mejor manera en las Figuras 21, 22 y 23 donde se muestran las imágenes escaneadas de las muestras evaluadas en untabilidad, antes y

después de efectuar la compresión. Para los componentes individuales (queso y crema) se observa una untabilidad homogénea (donde no se observa separación de fases) en el caso de la crema, en el caso del queso muy poca y para la pulpa de zarzamora aunque se esparce una mayor área superficial, no podría considerarse untable porque se observa una separación de fases (agua y sólidos).

Esta tendencia a disminuir los valores en D, A, TC y untabilidad concuerda con las disminuciones y la tendencia obtenida en la caracterización reológica donde parámetros como la viscosidad (resistencia a fluir) y carácter viscoelástico (G' y G'') disminuyeron a medida que se aumentaba la proporción de pulpa de zarzamora en los sistemas de crema y queso, que de alguna manera debilitan la estructura formada, esto es posible por el aumento del contenido de agua debilitando las interacciones proteína, grasa y carbohidratos como se discutió en los incisos 3.2 y 3.3 de este capítulo.

Tabla 16. Parámetros texturales obtenidos de la Curva Tipo TPA para componentes individuales y pastas untables

Muestra	Dureza (N)	Adhesividad (Nmm)	Trabajo de Compresión (Nmm)	Untabilidad (%)
zarzamora	0.47±0.02 ^e	0.14±0.04 ^d	1.60±0.01 ^d	120.65±14.0 ^{a,b}
crema	3.65±0.01 ^c	4.43±1.40 ^c	5.89±1.2 ^c	200.5±0.59 ^a
c/z (3:1)	1.38±0.03 ^e	2.59±0.12 ^c	4.57±0.18 ^c	171.54±9.40 ^{a,b}
c/z (1:1)	0.82±0.09 ^e	1.21±0.15 ^c	3.17±0.42 ^c	167.36±9.11 ^{a,b}
c/z (1:3)	0.77±0.09 ^e	1.07±0.19 ^c	2.70±0.56 ^c	99.28±35.0 ^{a,b}
queso	15.59±2.11 ^a	18.40±0.48 ^a	29.21±0.17 ^a	118.88±71.2 ^{a,b}
q/z (3:1)	7.89±1.01 ^b	14.96±1.06 ^a	21.52±2.60 ^b	105.28±6.38 ^{a,b}
q/z (1:1)	4.47±0.31 ^c	9.80±0.10 ^b	15.48±1.0 ^b	82.67±33.5 ^{a,b}
q/z (1:3)	2.29±0.31 ^d	2.87±0.007 ^c	6.33±0.26 ^c	78.51±0.35 ^b

- Dónde, c: crema, q: queso y z: zarzamora.

- Resultados se expresan como valores medios de los resultados obtenidos ± SD.

- Medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

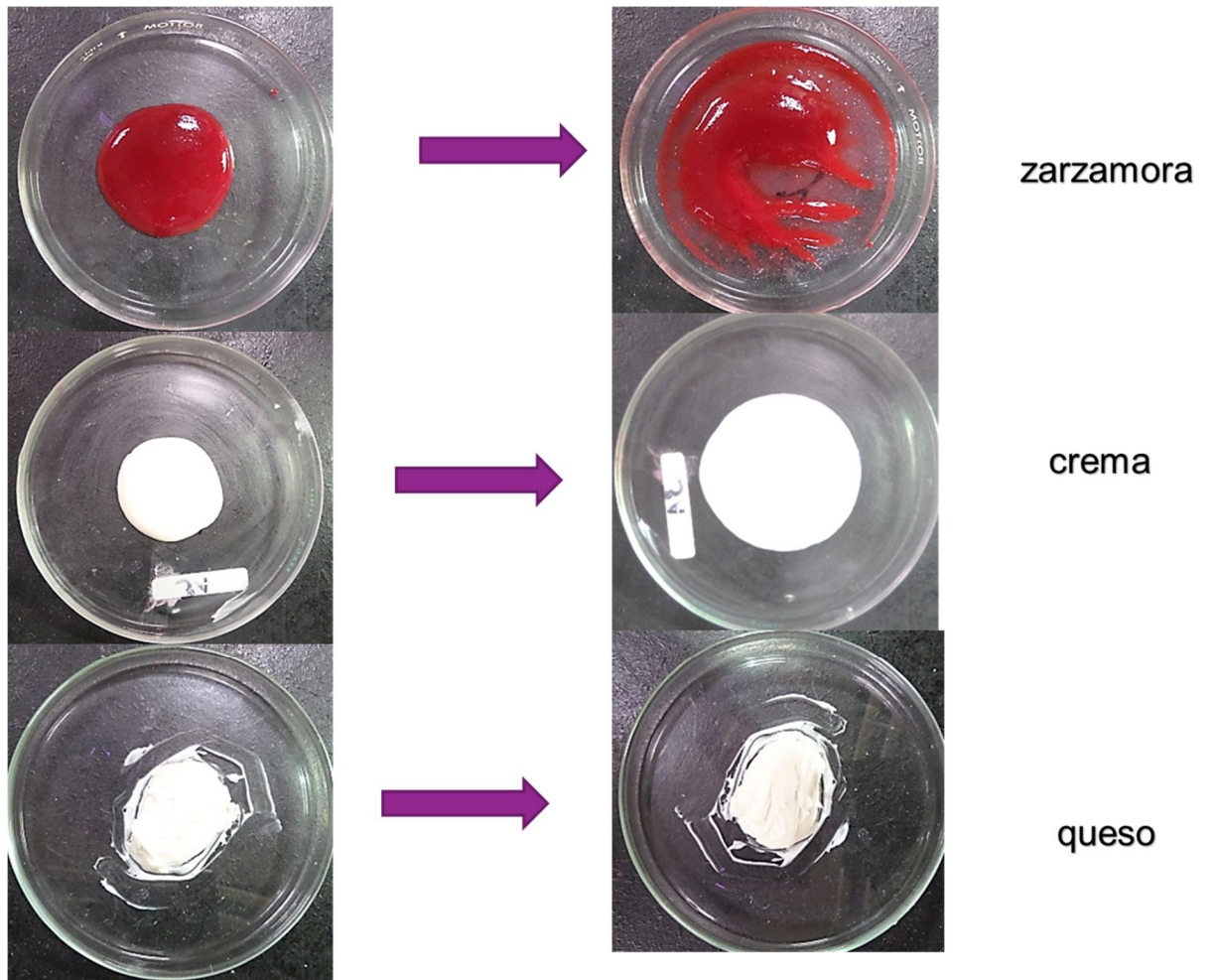


Figura 21. Imágenes escaneadas antes y después de la compresión en el estudio de untabilidad para los componentes individuales

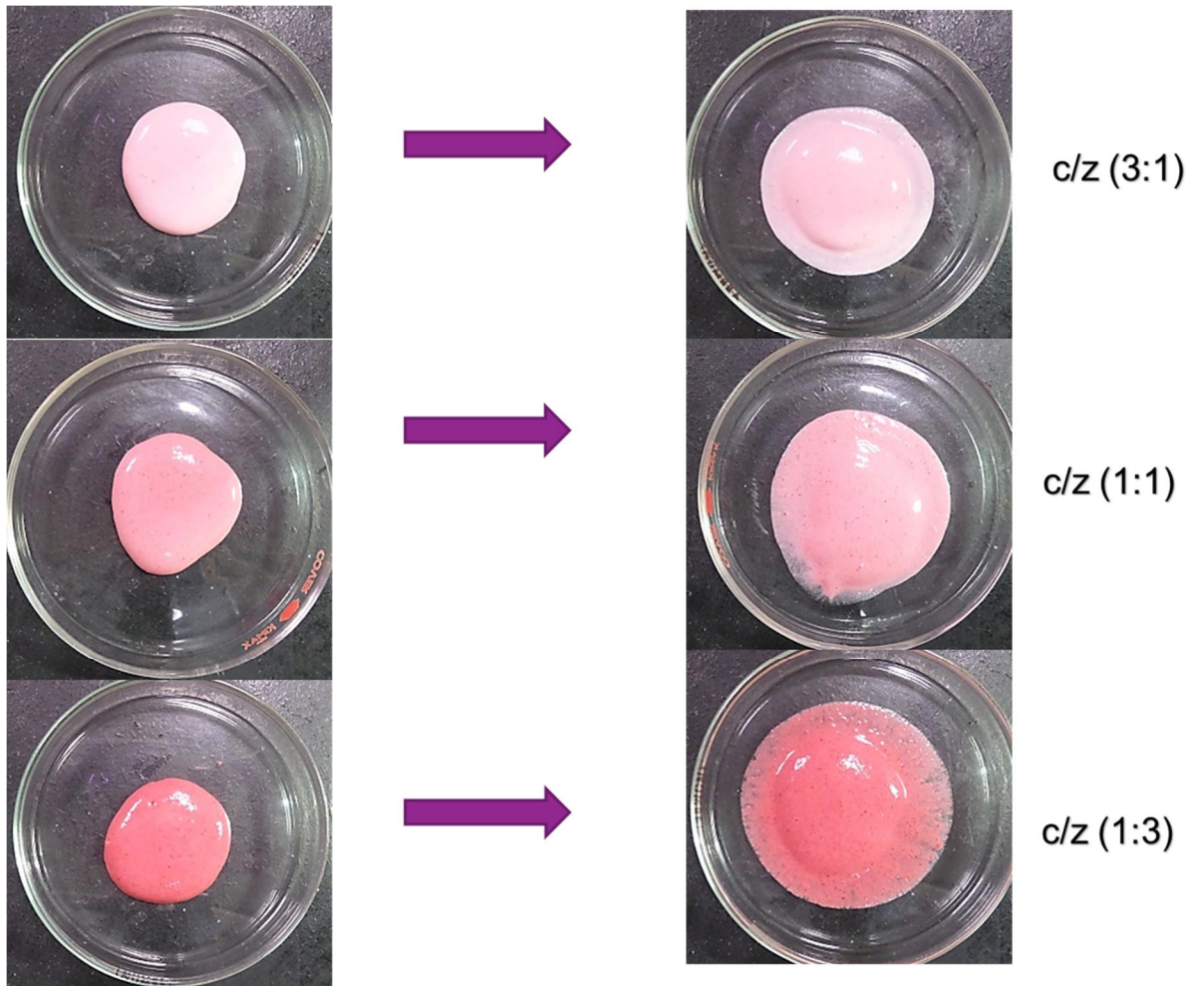


Figura 22. Imágenes escaneadas antes y después de la compresión en la prueba de untabilidad para las pastas untables de crema con pulpa de zarzamora

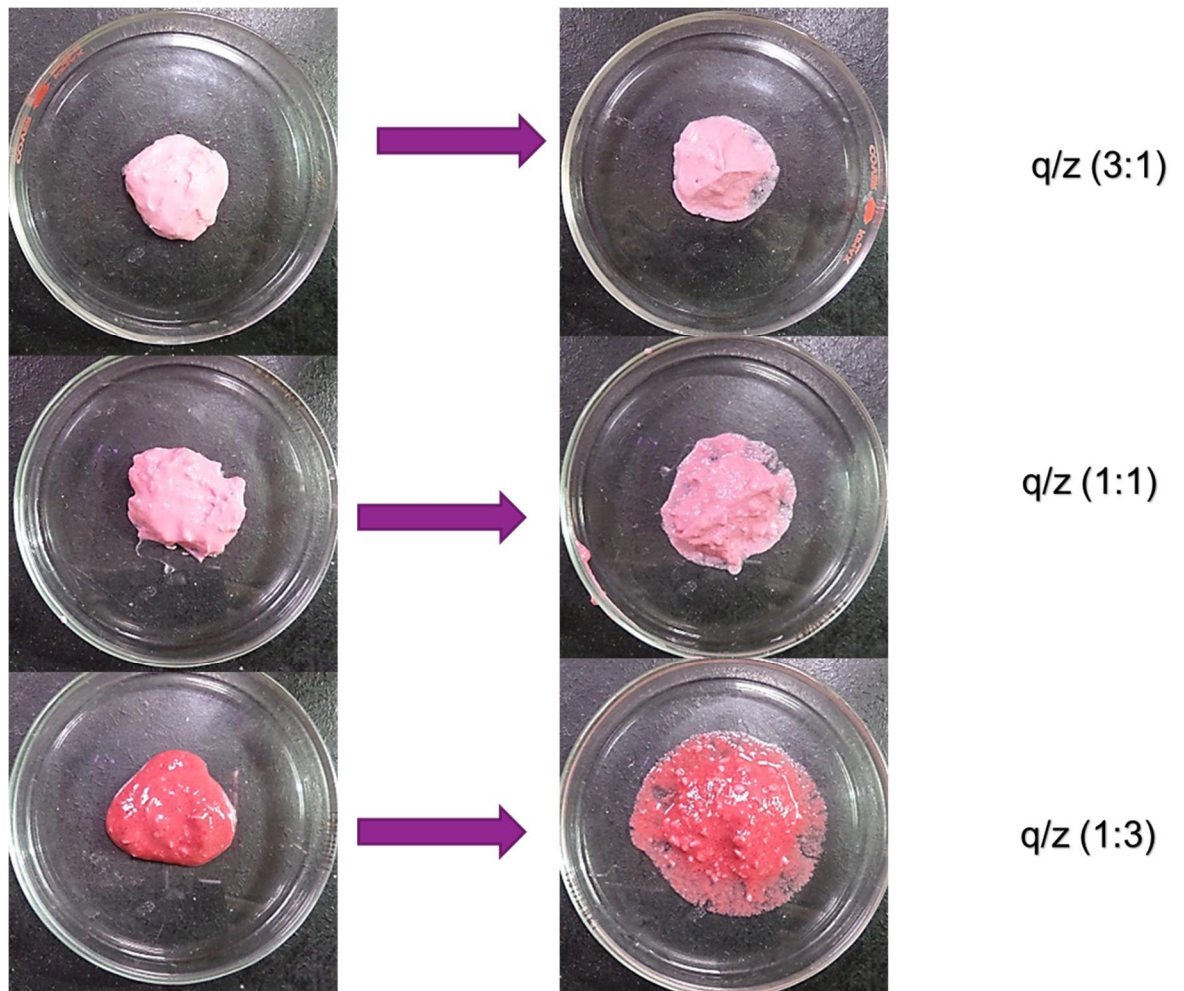


Figura 23. Imágenes escaneadas antes y después de la compresión en la prueba de untabilidad para las pastas untables de queso con pulpa de zarzamora

3.5. Optimización de Formulaciones

La metodología de superficie de respuesta ha sido usada para la optimización de procesos alimentarios definiendo la relación entre las variables de respuesta y las variables independientes. También ha tenido un desarrollo importante en la formulación de nuevos productos (RadočAaj *et al.*, 2011). Los diseños de superficie de respuesta tienen muchas ventajas en comparación con los clásicos diseños experimentales en los que una por una las variables son evaluadas con la misma técnica. Además de ofrecer una larga cantidad de información de un pequeño número de “corridos” (por lo tanto disminuye el tiempo y el número de experimentos realizados); también es posible observar un efecto de interacción en las variables independientes (Baş & Boyacı, 2007). Por su parte, el diseño de optimización de superficie de respuesta de compuesto central ha sido reportado con anterioridad en la literatura como herramienta para la optimización de formulaciones (Şumnu *et al.*, 2000, Gil *et al.*, 2006, Gan *et al.*, 2007, RadočAaj *et al.*, 2011).

En las Tablas 17 y 18 se presentan los datos experimentales del arreglo experimental obtenido para los diseños experimentales (diseño compuesto central de superficie de respuesta) en cada uno de las pastas untables conteniendo crema o queso.

Tabla 17. Diseño experimental compuesto central con tres niveles y tres variables respuesta, dureza, adhesividad y tensión de compresión pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora con crema

Run	Zarzamora (%)	Stevia (%)	Azúcar (%)	D (N)	A (Nmm)	TC (Nmm)
1	18	0.056	9	1.56	2.88	5.28
2	28.72	0.052	13	1.38	2.59	4.57
3	18	0.056	17	1.90	3.78	5.95
4	22	0.052	13	1.52	3.18	5.41
5	22	0.052	19.72	1.99	3.88	7.93
6	26	0.048	9	0.80	1.13	2.98
7	22	0.052	13	1.58	3.32	6.15
8	26	0.056	17	1.57	3.02	5.54
9	22	0.045	13	1.33	2.41	4.31
10	18	0.048	9	1.44	2.74	5.36
11	22	0.052	13	1.46	2.87	4.92
12	22	0.052	6.27	1.26	2.36	4.10
13	26	0.056	9	1.09	3.02	5.54
14	22	0.052	13	1.60	3.32	6.15
15	22	0.058	13	1.43	1.13	2.98
16	22	0.052	13	1.39	3.88	7.93
17	22	0.052	13	1.44	3.18	5.41
18	15.27	0.052	13	2.11	3.78	5.95
19	26	0.048	17	1.45	2.59	4.57
20	18	0.048	17	1.79	2.88	5.28

- Dónde: D: dureza, A: adhesividad, TC: tensión de compresión.

Tabla 18. Diseño experimental compuesto central con tres niveles y tres variables respuesta, dureza, adhesividad y tensión de compresión en pastas untables de pulpa de zarzamora con queso crema

Run	Zarzamora (%)	Stevia (%)	Azúcar (%)	D (N)	A (Nmm)	TC (Nmm)
1	18	0.056	9	12.00	16.38	25.71
2	28.72	0.052	13	6.56	8.08	16.20
3	18	0.056	17	12.66	12.37	28.61
4	22	0.052	13	7.89	15.56	22.83
5	22	0.052	19.72	9.24	13.89	15.17
6	26	0.048	9	7.31	8.57	25.76
7	22	0.052	13	8.24	11.06	21.52
8	26	0.056	17	9.84	12.47	18.65
9	22	0.045	13	7.23	7.32	28.76
10	18	0.048	9	10.48	12.81	31.28
11	22	0.052	13	11.32	12.91	23.48
12	22	0.052	6.27	7.65	19.12	22.22
13	26	0.056	9	9.88	9.01	27.36
14	22	0.052	13	8.84	12.56	15.17
15	22	0.058	13	7.84	7.04	27.55
16	22	0.052	13	8.67	15.4	23.48
17	22	0.052	13	8.47	13.46	22.22
18	15.27	0.052	13	13.21	16.62	32.65
19	26	0.048	17	9.95	13.93	21.50
20	18	0.048	17	12.61	12.16	31.19

- Dónde: D: dureza, A: adhesividad, TC: tensión de compresión.

En las Tablas 19 y 20 se observan los coeficientes obtenidos por regresión de los modelos obtenidos como resultado del diseño de optimización empleado; denotando A como % de zarzamora en la mezcla (zarzamora peso en gramos/ peso en gramos de la muestra total); B como % de stevia en la mezcla (stevia peso en gramos/ peso en gramos de la muestra total) y C como % de azúcar (azúcar peso en gramos/ peso en gramos de la muestra total). Se puede diferenciar por el análisis estadístico realizado (ANOVA) en los dos casos el gran efecto que presenta la adición de pulpa de zarzamora en los dos tipos de pastas untables con crema o queso, con ^a $p < 0.001$ y ^b $p < 0.01$, siendo significativo este parámetro para el modelo obtenido en cada parámetro estudiado (dureza, adhesividad y tensión de compresión). Para el caso de la stevia no presenta un efecto significativo en los parámetros texturales estudiados por la adición a las pastas untables, es decir, se obtuvo $p > 0.05$. Para el azúcar se observa un efecto significativo en las pastas untables con crema con ^a $p < 0.001$, en el caso de las pastas con queso, no se observó este efecto, posiblemente por la naturaleza de las muestras, en este caso la crema resulta ser más fluida que el queso que es un sistema más rígido.

Es decir, en las pastas untables de crema con zarzamora la adición de pulpa de zarzamora y azúcar modifica sus propiedades texturales (dureza, adhesividad y tensión de compresión), mientras que en las pastas untables de pulpa de zarzamora con queso crema sólo la adición de pulpa de zarzamora presenta un efecto significativo en éstos parámetros. En ninguno de los dos casos la stevia tuvo efecto alguno en la modificación de los parámetros texturales estudiados; esto puede deberse principalmente a los valores utilizados en las pastas untables, esto debido

a su alto potencial edulcorante que para alcanzar el nivel de dulzor del azúcar sólo se necesitan concentraciones muy bajas, Guggisberg *et al.* (2011) encontraron este mismo resultado en yogures al estudiar parámetros reológicos de los mismos evaluando la sustitución de azúcar por stevia, observando que la adición de stevia no tuvo efecto alguno en la consistencia de sus muestras estudiadas. Las Figuras 24, 25, 26, 27, 28 y 29 reflejan cómo es el efecto de cada variable independiente (%zarzamora, %stevia y %azúcar añadido en la pasta untable) y cómo varían éstos los parámetros de dureza, adhesividad y tensión de compresión. También se presentan en las Tablas 19 y 20 los coeficientes de determinación para cada modelo obtenido; los valores de R^2 (coeficiente de determinación) oscilan en un rango entre 0.890 y 0.937 para los modelos obtenidos de las pastas untables con crema, mientras que las de queso estuvieron entre 0.600 y 0.820, explicando los modelos entre el 60 y el 94% de los datos. También se presenta la probabilidad del valor del estadístico F de Fisher (estadístico del ANOVA) el cual se encuentra para los modelos obtenidos de pastas untables de queso o crema en un rango entre 0.0001 y 0.0085, siendo éste menor al valor de α fijado (0.05), lo que sugiere un buen ajuste de los modelos obtenidos. También se presenta otro parámetro importante, que además del valor P y R^2 , nos permite elucidar un buen ajuste que presentando valores por encima de 0.05 da idea de la bondad del ajuste de los modelos (Véase Tablas 19 y 20).

Las ecuaciones 29, 30 y 31 presentan los modelos obtenidos para las pastas untables de pulpa de zarzamora con crema, de acuerdo a cada parámetro obtenido.

Mientras que en las ecuaciones 32, 33 y 34 se muestran los modelos obtenidos para las pastas untables de zarzamora con queso crema.

$$\begin{aligned} Dureza = & 1.50 + (-0.22 * Zarzamora) + (0.059 * Stevia) + (0.22 * Azúcar) + (0.024 * \\ & Zarzamora * Stevia) + (0.056 * Zarzamora * Azúcar) + (-0.022 * Stevia * Azúcar) + (0.058 * \\ & Zarzamora * Zarzamora) + (-0.070 * Stevia * Stevia) + (0.016 * Azúcar * Azúcar) \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} Adhesividad = & 3.05 + (-0.52 * Zarzamora) + (0.15 * Stevia) + (0.51 * Azúcar) + (0.089 * \\ & Zarzamora * Stevia) + (0.13 * Zarzamora * Azúcar) + (-0.062 * Stevia * Azúcar) + (0.097 * \\ & Zarzamora * Zarzamora) + (-0.23 * Stevia * Stevia) + (-0.046 * Azúcar * Azúcar) \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} Tensión\ de\ compresión = & 5.47 + (-0.79 * Zarzamora) + (0.053 * Stevia) + (0.87 * Azúcar) + \\ & (0.28 * Zarzamora * Stevia) + (0.22 * Zarzamora * Azúcar) + (-0.13 * Stevia * Azúcar) + (0.16 * \\ & Zarzamora * Zarzamora) + (-0.50 * Stevia * Stevia) + (0.12 * Azúcar * Azúcar) \end{aligned} \quad (31)$$

$$Dureza = 9.49 + (-1.61 * Zarzamora) + (0.37 * Stevia) + (0.59 * Azúcar) \quad (32)$$

$$\begin{aligned} Adhesividad = & 13.48 + (-1.77 * Zarzamora) + (0.17 * Stevia) + (-0.34 * Azúcar) + (-0.60 * \\ & Zarzamora * Stevia) + (1.69 * Zarzamora * Azúcar) + (-0.66 * Stevia * Azúcar) + (-0.34 * \\ & Zarzamora * Zarzamora) + (-2.1 * Stevia * Stevia) + (1.13 * Azúcar * Azúcar) \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} Tensión\ de\ compresión = & 21.37 + (-3.75 * Zarzamora) + (-0.84 * Stevia) + (-1.61 * Azúcar) + \\ & (0.86 * Zarzamora * Stevia) + (-1.97 * Zarzamora * Azúcar) + (-0.18 * Stevia * Azúcar) + \\ & (1.55 * Zarzamora * Zarzamora) + (2.87 * Stevia * Stevia) + (-0.48 * Azúcar * Azúcar) \end{aligned} \quad (34)$$

Tabla 19. Coeficientes de regresión y Análisis de los modelos de las variables de tres respuestas para pastas untables de Crema con Pulpa de Zarzamora

Coeficiente	Coeficientes estimados		
	Dureza	Adhesividad	Tensión de Compresión
Intercepto	1.50	3.05	5.47
A	-0.22 ^a	-0.52 ^a	-0.79 ^a
B	0.059	0.15	0.053
C	0.22 ^a	0.51 ^a	0.87 ^a
AB	0.024	0.089	0.28
AC	0.056	0.13	0.22
BC	-0.022	-0.062	-0.13
AA	0.058	0.097	0.16
BB	-0.070 ^b	-0.23 ^b	-0.50 ^b
CC	0.016	-0.046	0.12
<i>Probabilidad del Valor F</i>	<0.0001	0.0004	0.0010
<i>Probabilidad de la falta del ajuste</i>	0.2155	0.3447	0.5604
<i>R²</i>	0.937	0.900	0.890

*Dónde, A: %zarzamora (%w/w), B: %stevia (%w/w), C: %Azúcar (%w/w), *R²*: coeficiente de determinación, F: estadístico de Fisher; ^a p<0.001. ^b p<0.01 ^c p<0.05.

Tabla 20. Coeficientes de regresión y Análisis de los modelos de las variables de tres respuestas pastas untables de Queso Crema con Pulpa de Zarzamora

Coeficiente	Coeficientes estimados		
	Dureza	Adhesividad	Tensión de Compresión
Intercepto	9.49	13.48	21.37
A	-1.61 ^b	-1.77 ^b	-3.75 ^b
B	0.37	0.17	-0.84
C	0.59	-0.34	-1.61
AB	-	-0.60	0.86
AC	-	1.69	-1.97
BC	-	-0.66	-0.18
AA	-	-0.34	1.55
BB	-	-2.17 ^b	2.87 ^b
CC	-	1.13	-0.48
<i>Probabilidad del Valor F</i>	0.0040	0.0085	0.0085
<i>Probabilidad de la falta del ajuste</i>	0.3228	0.3583	0.5776
<i>R²</i>	0.600	0.830	0.820

*Dónde, A: %zarzamora (%w/w), B: %stevia (%w/w), C: %Azúcar (%w/w), *R²*: coeficiente de determinación, F: estadístico de Fisher; ^a p<0.001. ^b p<0.01 ^c p<0.05.

En las Figuras 24, 25, 26, 27, 28 y 29 se presentan las gráficas de contorno donde se observa el efecto de la adición de azúcar y zarzamora en cada uno de las pastas untables. Se puede observar en el caso de las pastas untables con crema que el parámetro dureza (Figura 24) tiende a disminuir al aumentar la proporción de zarzamora en la pasta y una tendencia a aumentar con los niveles altos de azúcar. Para los parámetros adhesividad y trabajo de compresión se presenta la misma tendencia que con la dureza, disminuyendo sus valores al aumentar la proporción de pulpa de zarzamora y disminuye al disminuir la proporción de azúcar (Figuras 25 y 26). Vale la pena resaltar que en el caso de las pastas untables con zarzamora y crema tanto la proporción de zarzamora como la de azúcar tuvieron un efecto significativo en sus propiedades texturales ($p > 0.0001$), no se presentó un efecto en la interacción de los mismos ($p > 0.05$). Por lo que, aunque se presenta una tendencia clara explicada por un modelo cuadrático en todos los parámetros éstas no tienen un máximo por efecto de interacción (se presentan las curvas con un valor fijo de stevia de 0.052 siendo el punto central, esto por no encontrarse efecto por la adición de la misma). En el caso de las pastas untables con queso, el parámetro dureza presenta un efecto prácticamente lineal con la proporción de zarzamora sin tener en cuenta el azúcar o la stevia; es decir, el factor que está afectando este parámetro es la proporción de pulpa, de manera que si aumentamos esta proporción tienden a disminuir los valores de dureza (Figura 27). Para el caso de la adhesividad (Figura 28), también tiende a disminuir sus valores con el aumento de la proporción de zarzamora y el efecto de la adición de azúcar que está en proporciones altas (a partir de 13%), observándose que existe una tendencia al aumento de los valores de adhesividad con el aumento de cantidad de azúcar. Para el parámetro trabajo de

compresión también existe un efecto considerable por la adición de pulpa de zarzamora, tendiendo a disminuir este trabajo de compresión al aumentar la concentración de pulpa; en el caso del azúcar, también a niveles a partir de 13% se observa un efecto cuadrático (aunque no significativo para el modelo $p > 0.05$) ya que tiende a disminuir al aumentar la concentración de azúcar (Figura 29).

En el caso del efecto de la adición de la pulpa de zarzamora en las pastas untables con crema y que se explica en base a los parámetros reológicos y texturales en pastas untables (incisos 3.2, 3.3 y 3.4), en los cuales se estableció que el efecto de la adición de altas concentraciones de pulpa de zarzamora tiende a aumentar el contenido de agua en las pastas untables debilitando las interacciones proteína-grasa que en este caso tiende a disminuir los valores de dureza, adhesividad y tensión de compresión.

En cuanto al efecto del azúcar, otros autores han reportado un comportamiento similar al obtenido en el presente trabajo; al respecto, Torres *et al.* (2013) reporta de igual manera descenso en los valores de dureza al aumentar la proporción de azúcar en sus geles objeto de estudio; relacionando esta tendencia a la estructura de la sacarosa, que siendo una molécula larga y compleja tiende a dispersar y debilitar más los agregados de proteína permitiendo que los geles formados disminuyan sus valores de dureza. En cuanto a la adición de stevia menciona de igual manera que los valores estudiados son tan bajos que no puede observarse un efecto en los parámetros texturales.

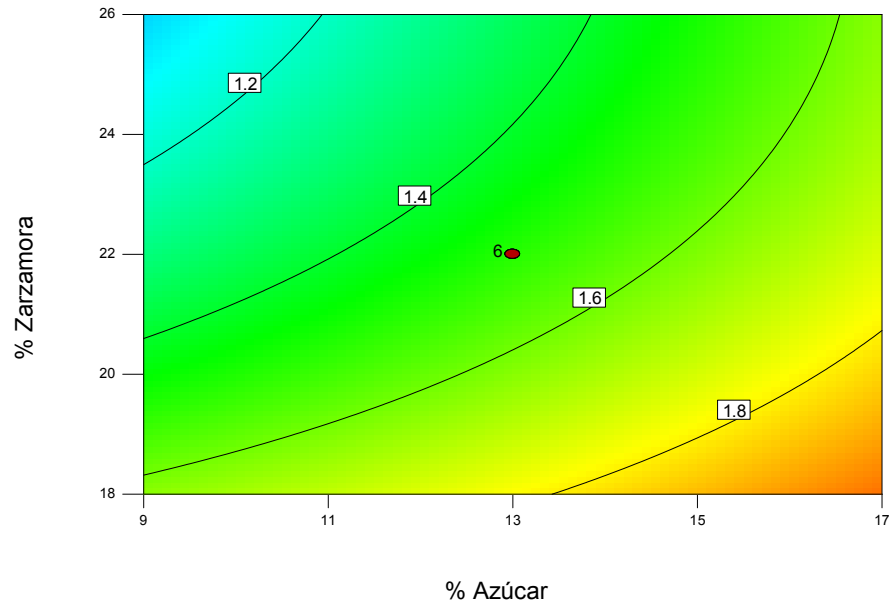


Figura 24. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro dureza en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y crema.

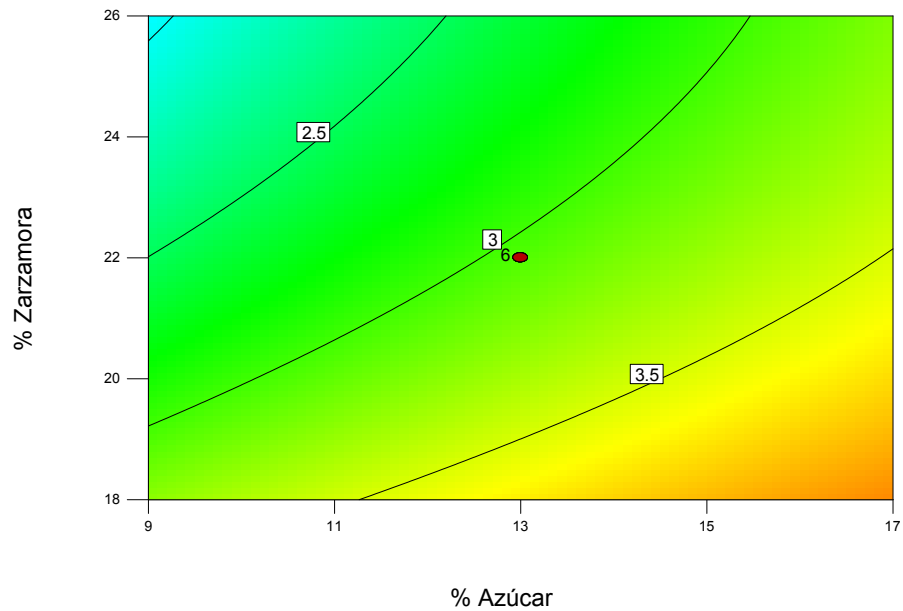


Figura 25. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro adhesividad en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y crema.

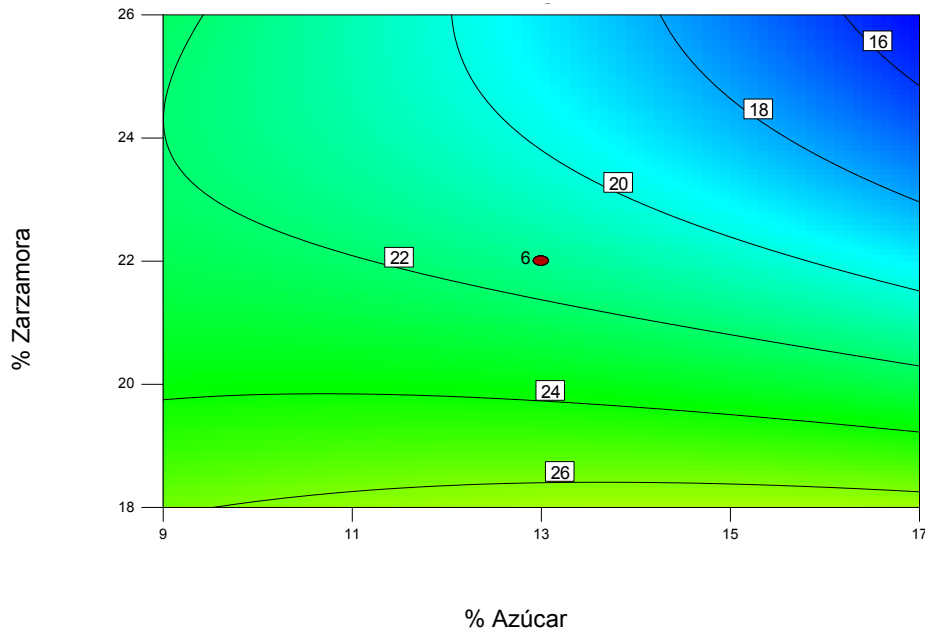


Figura 27. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro tensión de compresión en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y crema.

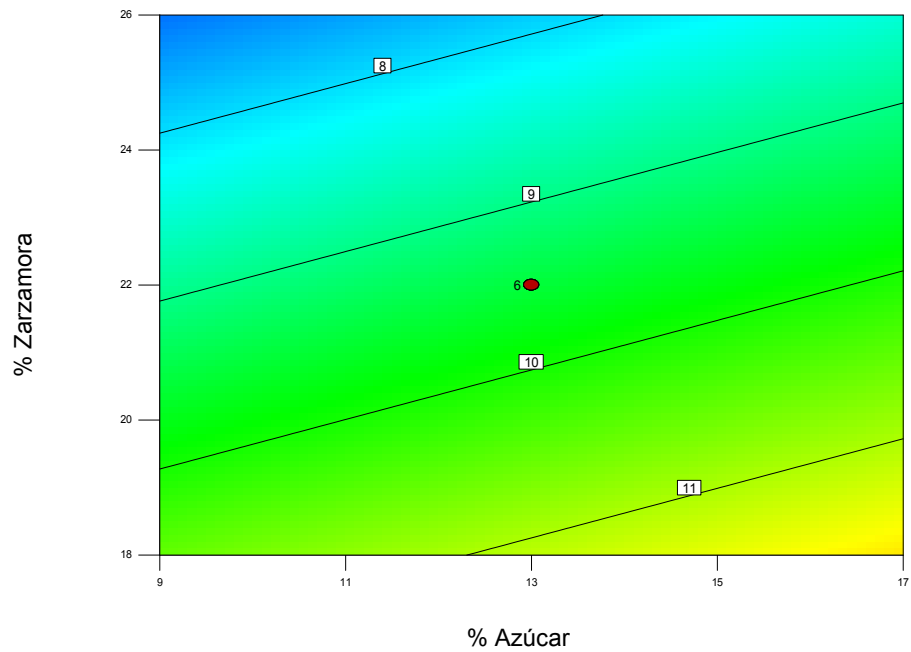


Figura 26. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro dureza en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y queso crema.

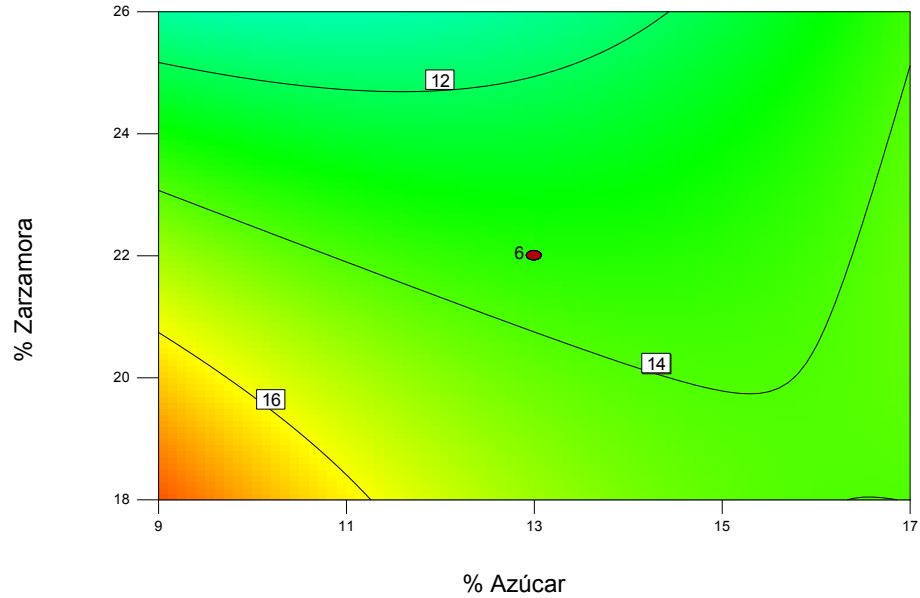


Figura 28. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro adhesividad en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y queso crema.

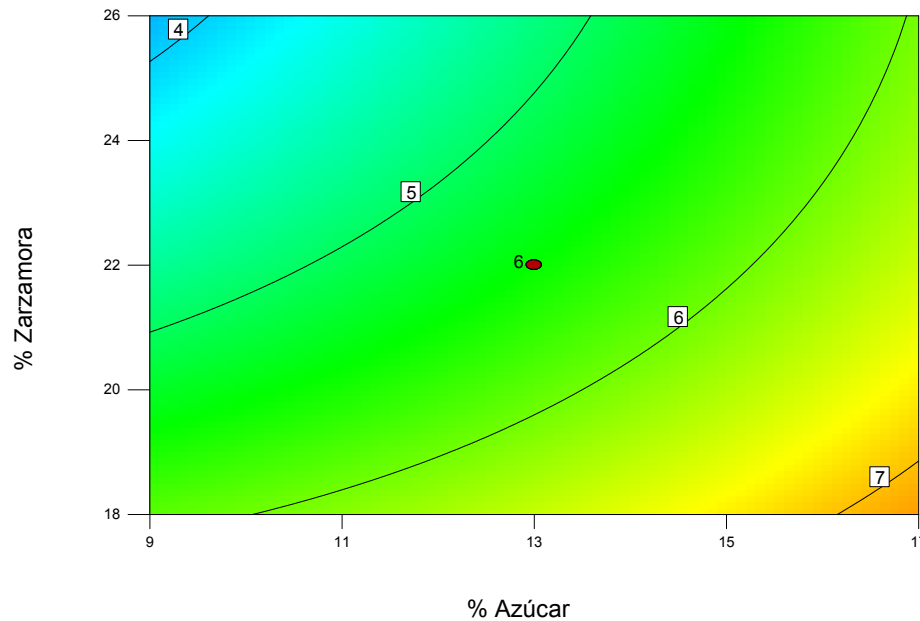


Figura 29. Gráfica de contorno de zarzamora vs azúcar para el parámetro tensión de compresión en pastas untables conteniendo pulpa de zarzamora y queso crema.

A partir de estos resultados, además de determinar el efecto de la adición de los componentes en los parámetros texturales estudiados (dureza, adhesividad y tensión de compresión) y por los ajustes obtenidos de los modelos (evaluados por su R², la significancia del modelo y la falta de ajuste del error) fue posible optimizar los parámetros de incorporación de los componentes (pulpa de zarzamora, azúcar, stevia y queso o crema) (Tabla 21) con valores medios de cada uno de las respuestas estudiadas, obteniéndose las formulaciones óptimas de las pastas unttables: queso (q/z) y crema (c/z) con deseabilidades de 95.3% y 92%, siendo la deseabilidad el porcentaje de cumplimiento de la optimización deseada (en este caso resultado de los valores medios).

Tabla 21. Formulación óptima obtenida de pastas unttables de crema y/o queso con pulpa de zarzamora.

Zarzamora (%)	Crema (%)	Azúcar (%)	Stevia (%)	Deseabilidad (%)
22.55	64.86	12.58	0.052	95.3
Zarzamora (%)	Queso (%)	Azúcar (%)	Stevia (%)	Deseabilidad (%)
20.93	66.30	12.71	0.052	92

3.6. Composición Proximal de Formulaciones Óptimas de Pastas Unttables.

En las Tablas 22 y 23 se presenta la caracterización proximal de las pastas unttables obtenidas (q/z- pasta untable de zarzamora y queso, c/z- pasta untable de zarzamora y crema) y los componentes individuales, identificando que en las pastas

untables los valores de proteína, grasa, cenizas y materia seca son menores, por lo que la humedad y carbohidratos son mayores; esto, por efecto de la adición de pulpa de zarzamora en las pastas untables conteniendo queso y crema; consecuencia de esto es que puede explicarse el comportamiento textural y reológico observado previamente, destacándose que la pulpa de zarzamora está aportando cierta cantidad de agua y carbohidratos que de cierta manera modifican la estructura original de los componentes individuales (crema y queso), pero que a su vez está aportando su contenido en antioxidantes que será analizado posteriormente.

Tabla 22. Caracterización proximal de formulaciones obtenidas para cada uno de las pastas untables

%	queso/zarzamora	crema/zarzamora
Humedad	60.4	63.4
Materia Seca	39.6	36.6
Proteína	3.5	1.7
Grasa	19.5	20.3
Carbohidratos	15.7	14.2
Cenizas	0.9	0.4

Tabla 23. Caracterización proximal de componentes individuales utilizados en las pastas untables

%	zarzamora	queso	crema
Humedad	82.7	54	61
Materia Seca	17.3	46.0	39
Proteína	1.4	6.0	2.19
Grasa	1.0	29.1	30.2
Carbohidratos	14.7	9.82	5.84
Cenizas	0.3	1.08	0.77

3.7. Evaluación Sensorial de Formulaciones Óptimas

La evaluación sensorial de las muestras de c/z-a (pasta untable óptima de crema con pulpa de zarzamora sin stevia, solo azúcar equivalente) , c/z (pasta untable óptima de crema con pulpa de zarzamora conteniendo stevia), q/z-a (pasta untable óptima de queso con pulpa de zarzamora sin stevia, sólo azúcar equivalente) y q/z (mezcla óptima de queso con pulpa de zarzamora contiendo stevia), indican que a pesar de una preferencia de los consumidores por c/z-a y q/z, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados para las cuatro formulaciones estudiadas ($p > 0.05$), como se puede verificar en las Tablas 24 y 25 donde se muestran los resultados del ANOVA obtenidos para cada tratamiento y parámetro estudiado; también en la Figura 30 puede observarse esto.

En las Tablas 24 y 25 se muestran valores $p > 0.05$ para todos los parámetros estudiados en el análisis sensorial; esto, tanto para las pastas untables con queso como las pastas untables con crema. Por lo tanto, no se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos analizados.

El diseño experimental utilizado fue un diseño de bloques aleatorios dónde cada panelista representa un bloque, esto debido a las diferencias que pueden presentarse en las preferencias de persona a persona. Valores $p > 0.05$ indican que no hubo diferencias significativas en la forma cómo evaluaban los panelistas las muestras, para el caso de los parámetros sabor y aceptabilidad global en las pastas untables con queso; para valores $p > 0.05$ indican diferencias significativas entre la forma cómo fueron evaluados los demás parámetros; esto es consecuencia de lo

antes mencionado, las preferencias de cada persona suelen ser diferentes y pueden evaluar o no las muestras de una forma diferente. Por esta razón también en la Tabla 26 se presentan valores promedios obtenidos en el análisis más no desviaciones estándar de los mismos.

Tabla 24. Resultados del ANOVA de la evaluación sensorial de las muestras de pastas untables de crema con azúcar y stevia.

Parámetro	Valor p (Efecto del tratamiento)	Valor p (Efecto del bloque)
Textura	0.569	0.001
Color	0.605	0.000
Sabor	0.209	0.002
Sabor residual	0.124	0.055
Aceptabilidad global	0.211	0.000

Tabla 25. Resultados del ANOVA de la evaluación sensorial de las muestras de pastas untables de queso con azúcar y stevia.

Parámetro	Valor p (Efecto del tratamiento)	Valor p (Efecto del bloque)
Textura	0.095	0.000
Color	0.051	0.000
Sabor	0.508	0.429
Sabor residual	0.586	0.000
Aceptabilidad global	0.295	0.301

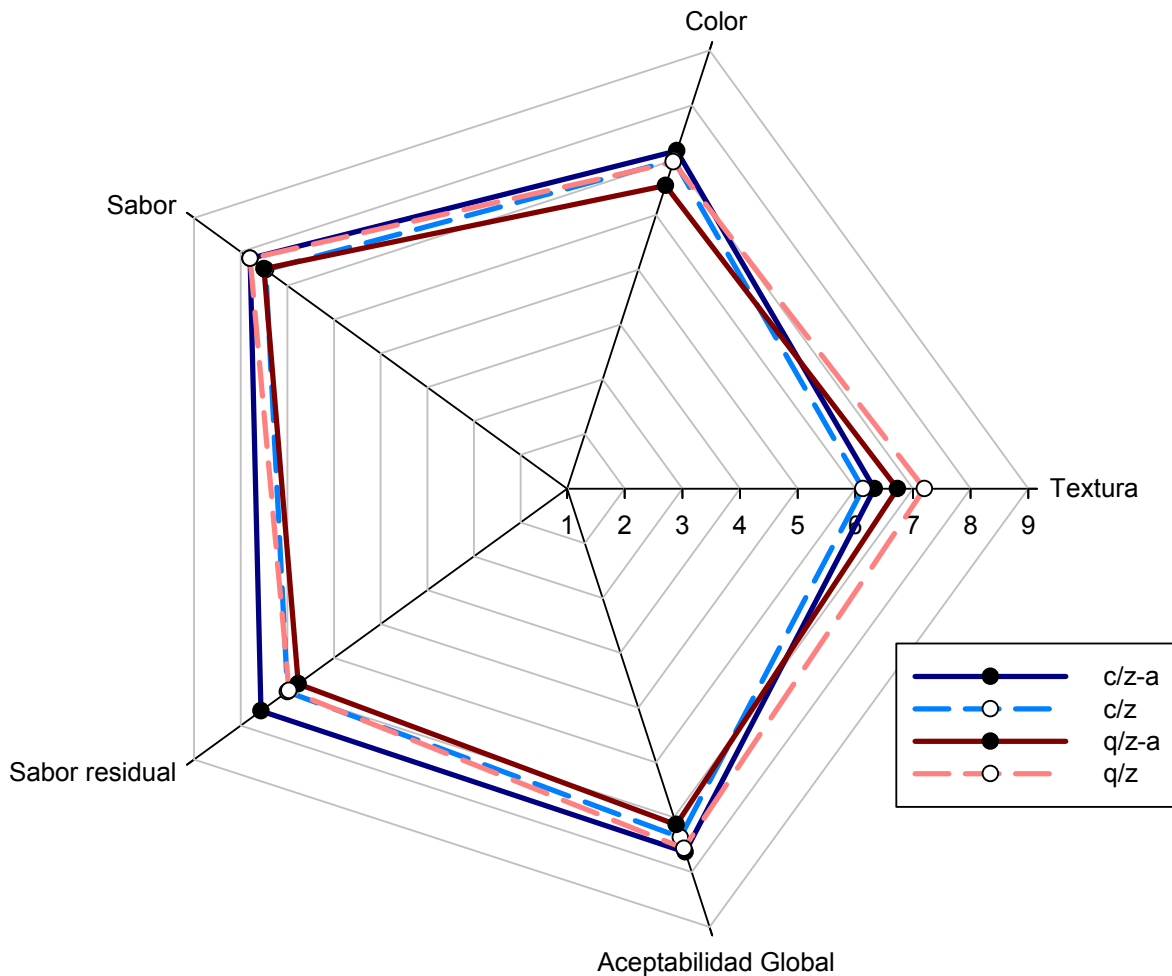


Figura 30. Gráfica radial de los promedios de los parámetros obtenidos en el análisis sensorial de las pastas untables.

Con estos resultados obtenidos, no es posible asegurar que los consumidores pueden confundirse entre las formulaciones estudiadas de pastas untables (aquellos con o sin stevia), pero sí se puede afirmar que los prefieren de igual manera. Es decir, que la sustitución parcial de azúcar por stevia no afecta el grado de aceptabilidad o preferencia de los consumidores, especialmente en cuanto a

sabor se refiere; ya que, generalmente la sustitución parcial de azúcar suele verse afectada por la preferencia de las personas a ésta y por lo tanto rechazo a cualquier sabor diferente proveniente de otro tipo de edulcorante. Por esta razón, el hecho de no encontrar diferencias significativas no debe verse como algo negativo sino por el contrario, esto representa en general que los panelistas al evaluar prefirieron todas las muestras por igual.

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en el análisis ANOVA, en el caso de las formulaciones teniendo crema y zarzamora hubo una ligera preferencia por la formulación con solo azúcar (c/z-a) con puntajes de 6.3, 7.2, 7.8, 7.6 y 7.6 para los parámetros de Textura, Color, Sabor, Sabor residual y Aceptabilidad Global, con respecto a la formulación incluyendo stevia (c/z) que obtuvo valores promedios de 6.1, 7.0, 7.5, 7.0 y 7.4 para Textura, Color, Sabor, Sabor residual y Aceptabilidad Global, respectivamente (Figura 31), disminuyendo sólo en un rango estos valores entre 3.1 y 7.8%

Aunque el TPA (perfil de análisis de textura) realizado previamente sugería un efecto importante en el parámetro textura condicionado a la adición de azúcar, este no fue significativo al momento del análisis sensorial donde ambos fueron aceptados con igual grado de preferencia ya que no presentaron diferencias estadísticas significativas mediante el ANOVA realizado.

El parámetro donde se encontró mayor diferencia fue el sabor residual (diferencia de 7.8%), debido principalmente a la adición de stevia en c/z donde pudo haber sido detectado el sabor característico de la stevia que difiere del de la azúcar y que en

algunos estudios de este tipo se han encontrado diferencias significativas (Guggisberg *et al.*, 2011). En la Tabla 26 se muestran los valores promedios obtenidos en cada parámetro y para cada tratamiento.

Tabla 26. Valores promedio obtenidos para los parámetros evaluados en cada tratamiento (formulaciones de pastas untables).

	Textura	Color	Sabor	Sabor residual	Aceptabilidad Global
c/z-a	6.3	7.2	7.8	7.6	7.6
c/z	6.1	7.0	7.5	7.0	7.4
q/z-a	6.7	6.5	7.5	6.8	7.1
q/z	7.2	7.0	7.8	7.0	7.6

En cuanto a las formulaciones con queso crema y zarzamora se obtuvo una cierta preferencia mayor para la formulación incluyendo stevia (q/z) con puntajes de 7.2, 7.0, 7.8, 7.0 y 7.6 para los parámetros de Textura, Color, Sabor, Sabor residual y Aceptabilidad Global, con respecto a la formulación con solo azúcar (q/z-a) que obtuvo valores promedios de 6.1, 7.0, 7.5, 7.0 y 7.4 para Textura, Color, Sabor, Sabor residual y Aceptabilidad Global, respectivamente (Figura 32), éstas diferencias estuvieron en un rango de 2.8 y 7.1% .

Los parámetros donde se encontraron más diferencias fueron Textura, Color y Aceptabilidad global con diferencias de 6.9, 7.1 y 6.6%. El análisis sensorial es una herramienta utilizada para determinar la respuesta humana a un estímulo externo; aunque cabe destacar que los resultados obtenidos pueden ser objetivos o subjetivos dependiendo del objetivo específico y del procedimiento sensorial seleccionado (Foegeding & Drake, 2007).

Los resultados obtenidos para las pastas untables sugieren que tanto en las formulaciones de crema como con las de queso crema con zarzamora los panelistas tienen un igual grado de aceptación por una formulación que por la otra, lo cual sugiere que es posible sustituir parcialmente cierta cantidad de azúcar usando stevia obteniéndose grados de preferencia muy similares.

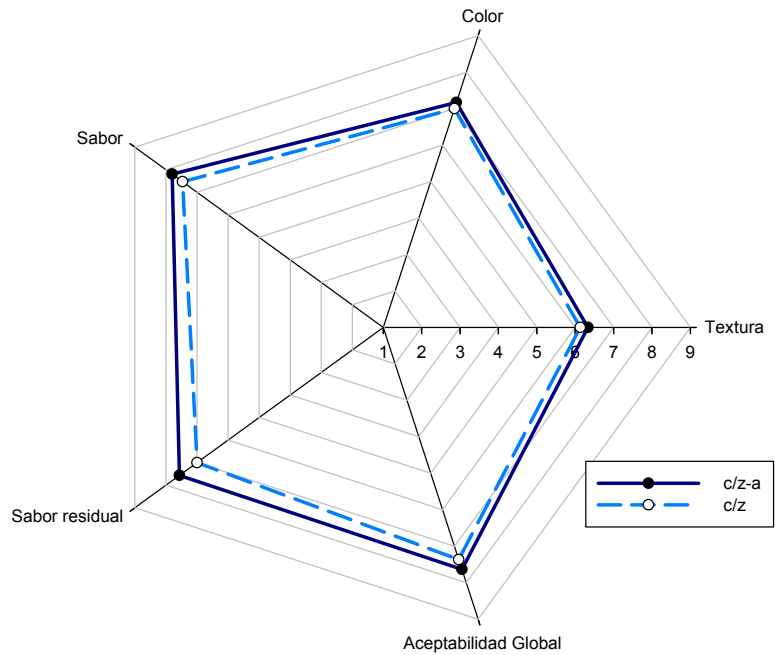


Figura 31. Gráfica radial de los promedios de los parámetros obtenidos en el análisis sensorial de las pastas untables con crema

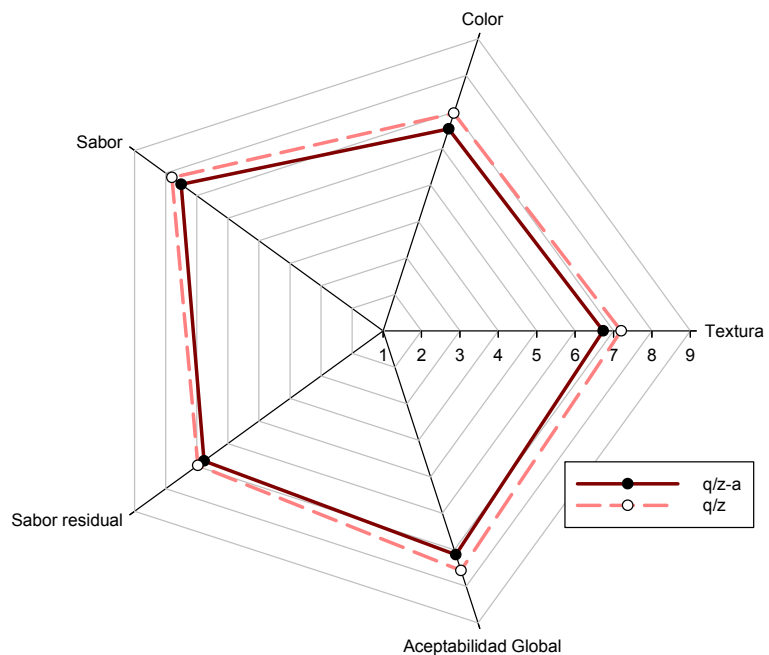


Figura 32. Gráfica radial de los promedios de los parámetros obtenidos en el análisis sensorial de las pastas untables con queso crema

3.8. Actividad antioxidante de Pulpa de Zarzamora y Pastas Untables Óptimas

Los resultados de capacidad antioxidante se presentan en las Tabla 27 para el día 0 (en refrigeración), expresados en porcentaje de inhibición. En la Tabla 28 se presentan los valores correspondientes a la capacidad antioxidante (métodos ABTS y DPPH) para las muestras en almacenamiento refrigerado (día 0 hasta día 21), valores expresados en TEAC (μ moles de Trolox equivalentes/ gramos de muestra en peso fresco).

El porcentaje de inhibición representa el porcentaje del radical formado (ABTS o DPPH) que es inhibido por la muestra de estudio en términos de diferencia de absorbancias; mientras que, TEAC o μ moles de Trolox equivalentes/ gramos de muestra en peso fresco, valora la capacidad antioxidante en base a un antioxidante de referencia (en este caso Trolox) teniendo en cuenta la concentración de la muestra o el peso en gramos utilizado para la extracción (Álvarez *et al.*, 2012).

Para evaluar las diferencias significativas entre muestras se consideró los valores presentados en la Tabla 27 de los porcentajes de inhibición en el día 0, para esto se realizó un análisis de varianza (ANOVA) obteniéndose que si existen diferencias significativas entre muestras (con un valor $p < 0.05$), obteniéndose el valor más alto para la pulpa de zarzamora (control) reportándose porcentajes de inhibición de 69.71 y 67.27%, disminuyendo estos valores en las pastas untables de q/z, 3.98 y 2.51 veces; 4.00 y 2.80 veces para c/z. Estas disminuciones están regidas por la proporción de pulpa de zarzamora en las pastas untables que está alrededor del 20%.

En cuanto a los resultados presentados de TEAC (μ moles de Trolox equivalentes/gramos de muestra en peso fresco) en zarzamora, estos resultado se encuentra en el rango reportado en la literatura (Sellappan *et al.*, 2002, Ozgen *et al.*, 2006, De Souza *et al.*, 2014).

Algunos autores como De Souza *et al.* (2014) decidieron no incluir los valores reportados en la literatura de capacidad antioxidante en su discusión debido a que las diferencias entre métodos y presentación de resultados no les permite realizar una buena comparación, esto por la falta de consenso al momento de reportar los resultados obtenidos; algunas veces basados en un estándar, otras veces teniendo en cuenta la humedad y otras sólo en porcentaje de inhibición. De acuerdo a Hassimotto *et al.* (2005), uno de los problemas más importantes de acuerdo a la evaluación de la capacidad antioxidante de materiales biológicos es la escogencia del método, porque típicamente los análisis solo miden una propiedad como la de inhibir un radical sintético o uno biológico o las especies hidroxilo.

Para el caso del crema, queso crema y pastas untables, existe escasa o prácticamente nula información, en la literatura puede encontrarse algunos ejemplos de yogurt y otros tipos de quesos y sistemas lácteos, más no información previa de antioxidantes en pastas untables (Gupta *et al.*, 2009, Zainoldin & Baba, 2009, Karaaslan *et al.*, 2011).

Se determinaron las fluctuaciones de los valores de capacidad antioxidante durante almacenamiento a los 7, 14 y 21 días, la dinámica de este comportamiento puede apreciarse en las Figuras 33 y 34.

De acuerdo al método de ABTS (Figura 33), se observa un decremento considerable en los valores de pulpa de zarzamora en comparación con las de pastas untables con queso o crema, en el caso de la crema y queso no hubo cambios significativos en estos valores y con respecto a las pastas untables formuladas hay una disminución ligera de estos valores al pasar el tiempo (una máxima disminución de un 50%). En la Tabla 28 se presentan los resultados del análisis estadístico (ANOVA), ilustrando esto de mejor manera; presentándose diferencias significativas conforme al tiempo en la pulpa de zarzamora, las demás muestras (pastas untables con queso o crema) no presentaron diferencias significativas al pasar el tiempo ($p > 0.05$).

Con respecto al método de DPPH es similar este comportamiento (Figura 34), hubo una tendencia a disminuir los valores de TEAC en la pulpa de zarzamora por efecto del tiempo, una disminución menor en las pastas untables y en los sistemas lácteos como son el caso de la crema y el queso individuales, sin presentar cambios significativos por efecto del tiempo. También puede notarse esto en la Tabla 28, dónde se presentan las diferencias significativas representadas por letras, los valores con (*) no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$).

La fluctuación observada en el caso de la pulpa de zarzamora contrasta con lo obtenido por (Šamec & Piljac-Žegarac, 2011) quienes evaluaron el efecto de la temperatura y el tiempo de almacenamiento en algunos frutos rojos (zarzamora, uvas, cerezas, entre otros), observaron un comportamiento diverso dependiendo del método de análisis, en algunos casos disminuyó en otros se mantuvo constante y en otros aumentó. Estas variaciones pueden atribuirse principalmente al método

utilizado y también porque en su caso fue analizado y extraído de la fruta fresca y su cinética se basó en el deterioro del fruto, en este caso se ha analizado en pulpa de zarzamora fresca, la cual se congeló para su conservación y posterior uso. Otro factor a considerar es, que aunque disminuye la actividad antioxidante en las pastas untables, los valores presentados están relacionados con la proporción de pulpa de zarzamora en las formulaciones estudiadas que en este caso es alrededor del 20% de la pasta en general; así que lo obtenido va de acuerdo a esto, aunque entre métodos el DPPH mostró mejores valores de TEAC en comparación con los obtenidos por el método del ABTS.

Tabla 27. Porcentaje de Inhibición de ABTS y DPPH en Zarzamora, Queso, Crema y pastas untables de Queso y Crema con Zarzamora al día 0.

Muestra	ABTS (% Inhibición)	DPPH (% Inhibición)
zarzamora	69.71±3.69 ^a	67.27±2.17 ^a
queso	7.87±0.38 ^b	9.41±0.15 ^b
crema	4.885±0.84 ^b	8.90±3.25 ^b
q/z	17.5±0.05 ^c	26.70±1.59 ^c
c/z	16.23±0.41 ^c	23.98±4.69 ^c

- Los datos son el promedio de tres réplicas ± desviación estándar.
- Resultados se expresan como valores medios de los resultados obtenidos ± SD.
- Medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 28. Capacidad antioxidante ABTS y DPPH (TEAC) en Zarzamora, Queso, Crema y pastas untables de Queso y Crema con Zarzamora en almacenamiento.

Día	zarzamora		queso		crema		q/z		c/z	
	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH
	(TEAC)	(TEAC)	(TEAC)	(TEAC)	(TEAC)	(TEAC)	(TEAC)	(TEAC)	(TEAC)	(TEAC)
0	17.7 ±0.66 ^a	15.53±0.13 ^a	1.24±0.07*	1.12±0.052*	1.04±0.15*	1.09±0.19*	3.39±0.17*	4.16±0.44*	3.2±0.29*	3.56±0.50*
7	13.41±0.30 ^b	12.80±0.12 ^b	0.97±0.41*	0.9010±0.24*	0.68±0.12*	0.90±0.20*	2.72±0.40*	2.72±0.70*	2.54±0.05*	2.51±0.20*
14	11.60±0.82 ^{b,c}	10.34±0.22 ^c	0.82±0.28*	0.9043±0.13*	0.79±0.29*	0.85±0.13*	2.35±0.20*	3.05±0.18*	2.43±0.24*	2.06±0.37*
21	9.96±0.51 ^c	7.30±0.99 ^d	1.12±0.12*	0.8824±0.13*	1.11±0.14*	0.94±0.10*	2.46±0.14*	2.06±0.29*	2.78±0.12*	1.62±0.0*1

- Abreviaciones: TEAC: Capacidad antioxidante equivalente en Trolox (μMoles equivalentes de Trolox/ g f.w.).
- Los datos son el promedio de tres réplicas ± desviación estándar.
- Medias que no comparten una letra (en columna) son significativamente diferentes (p<0.05).
- *No se encontraron diferencias significativas (p>0.05).

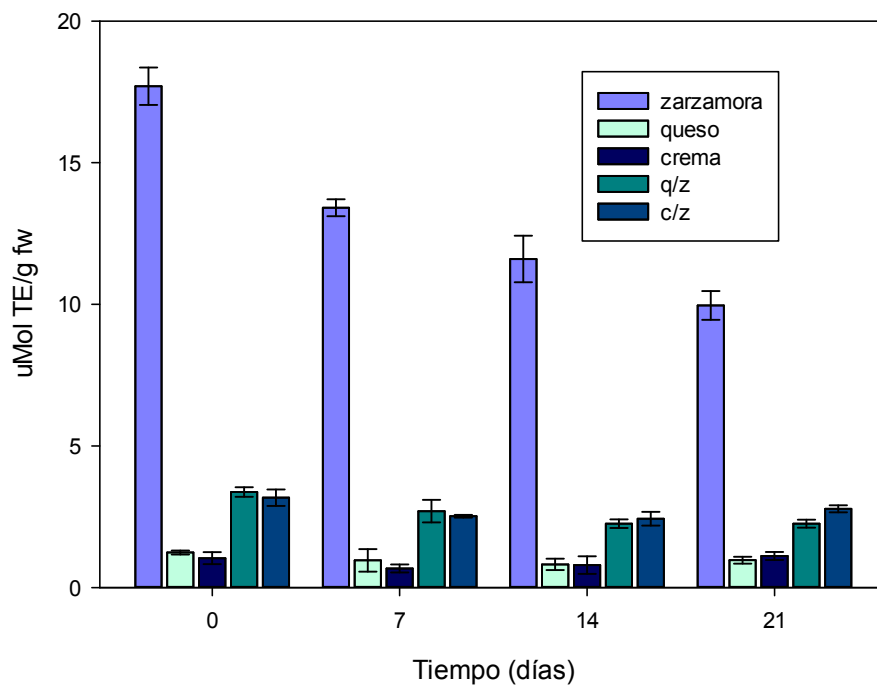


Figura 33. Capacidad antioxidante ABTS (TEAC) en zanzamora, queso, crema y pastas untables de zanzamora conteniendo queso y crema en almacenamiento

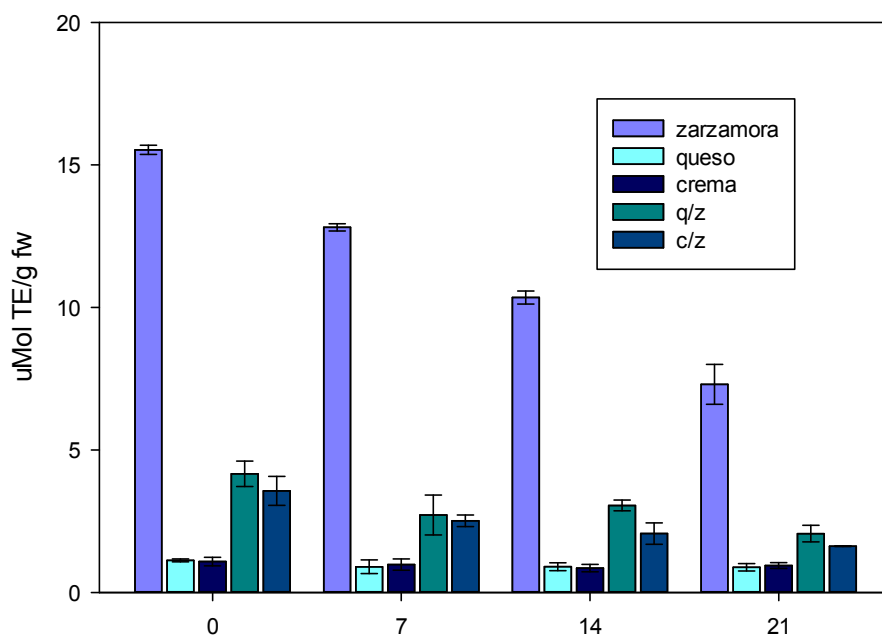


Figura 34. Capacidad antioxidante DPPH (TEAC) en zanzamora, queso, crema y pastas untables de zanzamora conteniendo queso y crema en almacenamiento

CAPÍTULO 4:

CONCLUSIONES

4. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto de investigación, se plantean las siguientes conclusiones:

- El comportamiento al flujo de los sistemas estudiados presentaron un comportamiento no Newtoniano de tipo pseudoplástico o reofludicante.
- El modelo de la Ley de la Potencia tuvo buenos ajustes para todos los sistemas estudiados (queso, crema, zarzamora y pastas untables de los mismos) ($R^2 > 0.900$).
- Se presentó una tendencia a disminuir los valores de viscosidad e índice de consistencia a medida que se aumentó la concentración de pulpa de zarzamora en las pastas untables: las disminuciones para viscosidad estuvieron en un rango de 57.24 y 84.11% para índice de consistencia disminuyeron en un rango de 2.16 y 53.92 veces.
- Todas las muestras estudiadas (queso, crema, zarzamora y pastas untables) presentaron un comportamiento tipo sólido viscoelástico, tipo gel débil.
- En todas las muestras estudiadas (queso, crema, zarzamora y pastas untables) y en el intervalo de estudio se observó predominancia del módulo de almacenamiento con respecto al de pérdida ($G' > G''$), en el comportamiento reológico dinámico.

- Se determinó una disminución de los valores de G' y G'' en función del aumento de la concentración de pulpa de zarzamora en las pastas untables, estas disminuciones estuvieron en un rango de 2.02 y 71.92 veces.
- Se obtuvieron buenos ajustes para el modelo de Burgers en las curvas Creep ($R^2 > 0.900$), obteniéndose los parámetros de compliancia instantánea y retardada, tiempo de retardo, viscosidad Newtoniana y porcentaje de recuperación en queso, crema, zarzamora y pastas untables.
- Los resultados de Creep, los oscilatorios dinámicos y los resultados de comportamiento al flujo mostraron como sistemas con mejor recuperación y comportamiento reológico las pastas untables con proporción 1:3 de zarzamora y sistema prototipo (crema o queso).
- En los resultados del análisis de textura (TPA), también disminuyeron los valores de dureza, adhesividad y tensión de compresión al aumentar la concentración de pulpa de zarzamora en las pastas untables.
- Fue posible obtener formulaciones óptimas de pastas untables incorporando azúcar y stevia por medio de un análisis de perfil de textura con deseabilidades por encima del 90%.
- En un análisis sensorial no hubo diferencias significativas entre las formulaciones estudiadas incorporando stevia versus formulaciones que no contenían stevia, obteniendo calificaciones arriba de 7 en una escala de 1 a 9 para todas las pastas untables, corroborando que se aceptan por igual sin importar la sustitución de azúcar por stevia.

- Se debe considerar los incrementos en el contenido de agua y carbohidratos en las pastas untables en comparación con los sistemas crema y queso, para explicar de mejor manera el comportamiento reológico de las pastas untables.
- La capacidad antioxidante de las pastas untables se le atribuye a la presencia de compuestos antioxidantes en la pulpa de zarzamora, de manera que se aprovechó esta propiedad del fruto para obtener productos nuevos; esta capacidad antioxidante se mantuvo prácticamente constante durante el almacenamiento en las pastas untables.
- El diseño experimental desarrollado permitió demostrar la hipótesis planteada.

CAPÍTULO 5:

RECOMENDACIONES

5. RECOMENDACIONES

Con base a los resultados y conclusiones obtenidos en esta investigación:

- Se sugiere realizar estudios de microscopía electrónica de barrido y microscopía de fuerza atómica a las pastas untables y componentes individuales para analizar de mejor manera la estructura del sistema.
- Es recomendable diseñar formulaciones con la adición de aditivos para la obtención de una pasta untable estable.
- Se plantea la posibilidad de incorporar los antioxidantes obtenidos de zarzamora en las pastas untables con crema y queso por otros métodos como micro o nanoencapsulación de manera que pueda elevarse el contenido de los mismos.
- Se recomienda el estudio de las propiedades físicas (reología, microscopía, entre otras.) de los edulcorantes estudiados para evaluar los efectos de la incorporación en las pastas untables.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Aidoo, R. P., Afoakwa, E. O. & Dewettinck, K. (2015). Rheological properties, melting behaviours and physical quality characteristics of sugar-free chocolates processed using inulin/polydextrose bulking mixtures sweetened with stevia and thaumatin extracts. *LWT - Food Science and Technology*, 62, 592-597.
- Aimaretti, N., Llopart, E., Clementz, A., Codevilla, A. & Biasoli, M. (2013). Desarrollo de una pasta untable vegetal a base de harina de grano entero de sorgo y mijo. *Revista Española de Nutrición y Dietética*, 17.
- Álvarez, E., González, G., de la Rosa Carrillo, L. & Ayala, J. (2012). Antioxidantes: En alimentos y salud. México: Clave Editorial. pp407-456
- Alvarez, M., López, J. & Bueso, F. (2008). Desarrollo de una pasta untable a base de nueces de marañón (*Anacardium occidentale L.*) con antioxidantes BHA y TBHQ. Ingeniería Agroindustrial, Biblioteca Wilson Popenoe. Zamorano. Honduras. pp1-32.
- Amatayakul, T., Halmos, A. L., Sherkat, F. & Shah, N. P. (2006). Physical characteristics of yoghurts made using exopolysaccharide-producing starter cultures and varying casein to whey protein ratios. *International Dairy Journal*, 16, 40-51.
- Barnes, H. A., Hutton, J. F. & Walters, K. (1989). An introduction to rheology. Elsevier. pp27-54
- Barraza Carrillo (2002). Caracterización reológica de yogur con mezclas de gelana y pulpa de melón. Tesis de Maestría en Ciencias, Biotecnología y Bioingeniería. CINVESTAV. México.
- Baş, D. & Boyacı, İ. H. (2007). Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78, 836-845.

- Bayarri, S., Chuliá, I. & Costell, E. (2010). Comparing λ -carrageenan and an inulin blend as fat replacers in carboxymethyl cellulose dairy desserts. Rheological and sensory aspects. *Food Hydrocolloids*, 24, 578-587.
- Bellalta, P., Troncoso, E., Zúñiga, R. N. & Aguilera, J. M. (2012). Rheological and microstructural characterization of WPI-stabilized O/W emulsions exhibiting time-dependent flow behavior. *LWT-Food Science and Technology*, 46, 375-381.
- Benn, M. (2014). Agent for altering the color of keratin fibers comprising a rheology modifying polymer and high levels of a fatty substance in a cream system. US Patent 8, 920,521.
- Benvenuti, S., Pellati, F., Melegari, M. & Bertelli, D. (2004). Polyphenols, Anthocyanins, Ascorbic Acid, and Radical Scavenging Activity of *Rubus*, *Ribes*, and *Aronia*. *Journal of Food Science*, 69, FCT164-FCT169.
- Bramley, P. M., Elmadfa, I., Kafatos, A., Kelly, F. J., Manios, Y., Roxborough, H. E., Schuch, W., Sheehy, P. J. A. & Wagner, K. H. (2000). Vitamin E. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 913-938.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Bryant, A., Ustunol, Z. & Steffe, J. (1995). Texture of Cheddar Cheese as Influenced by Fat Reduction. *Journal of Food Science*, 60, 1216-1219.
- Buriti, F. C. A., da Rocha, J. S. & Saad, S. M. I. (2005). Incorporation of *Lactobacillus acidophilus* in Minas fresh cheese and its implications for textural and sensorial properties during storage. *International Dairy Journal*, 15, 1279-1288.
- Cabral, R. A. F., Orrego-Alzate, C. E., Gabas, A. L. & Telis-Romero, J. (2007). Rheological and thermophysical properties of blackberry juice. *Food Science and Technology (Campinas)*, 27, 589-595.

- Céspedes, C. L., El-Hafidi, M., Pavon, N. & Alarcon, J. (2008). Antioxidant and cardioprotective activities of phenolic extracts from fruits of Chilean blackberry *Aristotelia chilensis* (Elaeocarpaceae), Maqui. *Food Chemistry*, 107, 820-829.
- Clark, A. & Ross-Murphy, S. (1987). Structural and mechanical properties of biopolymer gels. *Biopolymers*. Springer Berlin Heidelberg. pp57-192
- Clark, S., Bodyfelt, F. W., Costello, M. & Drake, M. (2009). The sensory evaluation of dairy products, Springer. pp43-71
- Coutouly, A., Riaublanc, A., Axelos, M. & Gaucher, I. (2014). Effect of heat treatment, final pH of acidification, and homogenization pressure on the texture properties of cream cheese. *Dairy Science & Technology*, 94, 125-144.
- Cunha, C. R., Dias, A. I. & Viotto, W. H. (2010). Microstructure, texture, colour and sensory evaluation of a spreadable processed cheese analogue made with vegetable fat. *Food Research International*, 43, 723-729.
- Charley, H. (1989). *Tecnología de Alimentos*. México: Limusa Noriega Editores. pp652-655
- Cheng, L. H., Lim, B. L., Chow, K. H., Chong, S. M. & Chang, Y. C. (2008). Using fish gelatin and pectin to make a low-fat spread. *Food Hydrocolloids*, 22, 1637-1640.
- De Souza, V. R., Pereira, P. A., da Silva, T. L., de Oliveira Lima, L. C., Pio, R. & Queiroz, F. (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chem*, 156, 362-368.
- De Souza, V. R., Pinheiro, A. C. M., Carneiro, J. D. E. D. S., Pinto, S. M., Abreu, L. R. & Menezes, C. C. (2011). Analysis of Various Sweeteners in Petit Suisse Cheese: Determination of the Ideal and Equivalent Sweetness. *Journal of Sensory Studies*, 26, 339-345.

- Dolz, M., Hernández, M. J. & Delegido, J. (2008). Creep and recovery experimental investigation of low oil content food emulsions. *Food Hydrocolloids*, 22, 421-427.
- Doublier, J., Launay, B. & Cuvelier, G. (1992). Viscoelastic properties of food gels. *Viscoelastic properties of foods*, 371-434.
- Elisia, I., Hu, C., Popovich, D. G. & Kitts, D. D. (2007). Antioxidant assessment of an anthocyanin-enriched blackberry extract. *Food Chemistry*, 101, 1052-1058.
- FAO. (2006). Tabla de composición de alimentos de América Latina [Online]. Available: <http://www.fao.org/infoods/infoods/tablas-y-bases-de-datos/america-latina/es/>.
- Ferry, J. D. (1980). Viscoelastic properties of polymers. John Wiley & Sons. pp33-67
- Figura, L. & Teixeira, A. A. (2007). Food physics: physical properties-measurement and applications, Springer Science & Business Media. pp117-203.
- Floegel, A., Kim, D.-O., Chung, S.-J., Koo, S. I. & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 1043-1048.
- Foegeding, E. A. & Drake, M. A. (2007). Invited Review: Sensory and Mechanical Properties of Cheese Texture1. *Journal of Dairy Science*, 90, 1611-1624.
- Gan, H. E., Karim, R., Muhammad, S. K. S., Bakar, J. A., Hashim, D. M. & Rahman, R. A. (2007). Optimization of the basic formulation of a traditional baked cassava cake using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 611-618.
- Gasmalla, M. A. A., Yang, R. & Hua, X. (2014). Stevia rebaudiana Bertoni: An alternative Sugar Replacer and Its Application in Food Industry. *Food Engineering Reviews*, 6, 150-162.

- Gil, E. C., Colarte, A. I., Bataille, B., Pedraz, J. L., Rodríguez, F. & Heinämäki, J. (2006). Development and optimization of a novel sustained-release dextran tablet formulation for propranolol hydrochloride. *International Journal of Pharmaceutics*, 317, 32-39.
- Glicksman, M. (1982). Food hydrocolloids, USA, Crc Press Boca Raton, FL. pp1-219
- Goyal, S. K., Samsher & Goyal, R. K. (2010). Stevia (*Stevia rebaudiana*) a bio-sweetener: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61, 1-10.
- Guggisberg, D., Piccinali, P. & Schreier, K. (2011). Effects of sugar substitution with Stevia, Actilight™ and Stevia combinations or Palatinose™ on rheological and sensory characteristics of low-fat and whole milk set yoghurt. *International Dairy Journal*, 21, 636-644.
- Gunasekaran, S. & Ak, M. M. (2002). Cheese rheology and texture, CRC press. pp309-435.
- Gupta, A., Mann, B., Kumar, R. & Sangwan, R. B. (2009). Antioxidant activity of Cheddar cheeses at different stages of ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 62, 339-347.
- Hassimotto, N. M. A., Genovese, M. I. & Lajolo, F. M. (2005). Antioxidant Activity of Dietary Fruits, Vegetables, and Commercial Frozen Fruit Pulps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2928-2935.
- Hassimotto, N. M. A., Mota, R. V. d., Cordenunsi, B. R. & Lajolo, F. M. (2008a). Physico-chemical characterization and bioactive compounds of blackberry fruits (*Rubus sp.*) grown in Brazil. *Food Science and Technology (Campinas)*, 28, 702-708.
- Hassimotto, N. M. A., Pinto, M. r. D. S. & Lajolo, F. M. (2008b). Antioxidant status in humans after consumption of blackberry (*Rubus fruticosus L.*) juices with and without defatted milk. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56, 11727-11733.

- Huang, W. Y., Zhang, H. C., Liu, W. X. & Li, C. Y. (2012). Survey of antioxidant capacity and phenolic composition of blueberry, blackberry, and strawberry in Nanjing. *J Zhejiang Univ Sci B*, 13, 94-102.
- Jackman, R. & Smith, J. (1996). Anthocyanins and betalains. *Natural food colorants*. Springer. pp244-309.
- Jiménez-Avalos, H. A., Ramos-Ramírez, E. G. & Salazar-Montoya, J. A. (2005). Viscoelastic characterization of gum arabic and maize starch mixture using the Maxwell model. *Carbohydrate Polymers*, 62, 11-18.
- Karaaslan, M., Ozden, M., Vardin, H. & Turkoglu, H. (2011). Phenolic fortification of yogurt using grape and callus extracts. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 1065-1072.
- Kaschta, J. & Schwarzl, F. (1994). Calculation of discrete retardation spectra from creep data—II. Analysis of measured creep curves. *Rheologica acta*, 33, 530-541.
- Kaume, L., Howard, L. R. & Devareddy, L. (2012). The blackberry fruit: a review on its composition and chemistry, metabolism and bioavailability, and health benefits. *J Agric Food Chem*, 60, 5716-27.
- Koksoy, A. & Kilic, M. (2004). Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. *Food Hydrocolloids*, 18, 593-600.
- Kopjar, M., Jakšić, K. & Piližota, V. (2012). Influence of Sugars and Chlorogenic Acid Addition on Anthocyanin Content, Antioxidant Activity and Color of Blackberry Juice during Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36, 545-552.
- Kulkarni, C., Belsare, N. & Lele, A. (2006). Studies on shrikhand rheology. *Journal of Food Engineering*, 74, 169-177.

- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J. & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology (Campinas)*, 25, 726-732.
- Lawless, H. T. & Hildegarde, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food Principles and Practices*, New York, Springer New York. pp237-238
- Lee, S. K. & Klostermeyer, H. (2001). The Effect of pH on the Rheological Properties of Reduced-fat Model Processed Cheese Spreads. *LWT - Food Science and Technology*, 34, 288-292.
- Lee, S. K., Klostermeyer, H. & Anema, S. G. (2015). Effect of fat and protein-in-water concentrations on the properties of model processed cheese. *International Dairy Journal*, 50, 15-23.
- Lisak, K., Jeličić, I., Tratnik, L. & Božanić, R. (2011). Influence of sweetener stevia on the quality of strawberry flavoured fresh yoghurt. *Mljekarstvo*, 61, 220-225.
- Long, Z., Zhao, M., Zhao, Q., Yang, B. & Liu, L. (2012). Effect of homogenisation and storage time on surface and rheology properties of whipping cream. *Food Chemistry*, 131, 748-753.
- Morais, E. C., Morais, A. R., Cruz, A. G. & Bolini, H. M. A. (2014). Development of chocolate dairy dessert with addition of prebiotics and replacement of sucrose with different high-intensity sweeteners. *Journal of Dairy Science*, 97, 2600-2609.
- Morales-Irigoyen, E. E., Severiano-Perez, P., Rodriguez-Huezo, M. E. & Totosaus, A. (2012). Textural, physicochemical and sensory properties compensation of fat replacing in pork liver pate incorporating emulsified canola oil. *Food Sci Technol Int*, 18, 413-21.
- Muller, H. G. (1973). *Introducción a la reología de los alimentos*, Acribia. Pp174.
- Muñoz, R. & Juárez, M. (1995). *El Mercado Mundial de la Frambuesa y Zarzamora*. UA Chapingo, ACERCA, CIESTAM.

- Muratalla, L. A., Barrientos, P., Rodriguez, A., Lopez, A., Salazar, G., López, M., Segura, L. & Náteras, U. (Year) Published. El cultivo de zarzamora y la frambuesa en México. VI Curso de actualización frutícola: Tópicos selectos para el desarrollo de Fruticultura, 1993 Coatepec de Harinas, México.pp44-60.
- Narayanan, P., Chinnasamy, B., Jin, L. & Clark, S. (2014). Use of just-about-right scales and penalty analysis to determine appropriate concentrations of stevia sweeteners for vanilla yogurt. *Journal of Dairy Science*, 97, 3262-3272.
- Nguyen, V., Duong, C. T. M. & Vu, V. (2015). Effect of thermal treatment on physical properties and stability of whipping and whipped cream. *Journal of Food Engineering*, 163, 32-36.
- Novoa, D. F. & Ramírez Navas, J. S. (2013). Caracterización reológica de manjar blanco del valle del cauca, Bogotá, Colombia, Revista Alimentos Hoy. pp54-62.
- Núñez-Santiago, M., Méndez Montealvo, M. d. C. & Solorza Fera, J. (2001). Introducción a la Reología. *México: Instituto Politécnico Nacional*.
- Ortiz, J., Marin-Arroyo, M. R., Noriega-Dominguez, M. J., Navarro, M. & Arozarena, I. (2013). Color, phenolics, and antioxidant activity of blackberry (*Rubus glaucus Benth.*), blueberry (*Vaccinium floribundum Kunth.*), and apple wines from Ecuador. *J Food Sci*, 78, C985-93.
- Ozgen, M., Reese, R. N., Tulio, A. Z., Scheerens, J. C. & Miller, A. R. (2006). Modified 2,2-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic Acid (ABTS) Method to Measure Antioxidant Capacity of Selected Small Fruits and Comparison to Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) and (DPPH) Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 1151-1157.
- Pántastico, B. (2004). Fisiología de la Post-Recolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. *Compañía Editorail Continental S.A. México*.

- Pastrana-Bonilla, E., Akoh, C. C., Sellappan, S. & Krewer, G. (2003). Phenolic content and antioxidant capacity of muscadine grapes. *J Agric Food Chem*, 51, 5497-503.
- Peinado, I., Rosa, E., Heredia, A. & Andrés, A. (2012). Rheological characteristics of healthy sugar substituted spreadable strawberry product. *Journal of Food Engineering*, 113, 365-373.
- Penna, A. L. B., Subbarao, G. & Barbosa-Cánovas, G. V. (2007). High hydrostatic pressure processing on microstructure of probiotic low-fat yogurt. *Food Research International*, 40, 510-519.
- Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Tabernero, M., Díaz- Rubio, M. E., Serrano, J., Goñi, I. & Saura-Calixto, F. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*, 41, 274-285.
- Petković, M., Pajin, B. & Tomić, J. (2013). Effects of Temperature and Mixer Speed Rotation on Rheological Properties of Spreads with Maltitol. *Journal of Food Process Engineering*, 36, 634-644.
- Physica, P. (1993). Operating Manual: Low Stress Rheometer LS 100. In: MEBTECHNIK, P. (ed.). Stuttgart, Alemania.
- Poiana, M.-A., Munteanu, M.-F., Bordean, D.-M., Gligor, R. & Alexa, E. (2013). Assessing the effects of different pectins addition on color quality and antioxidant properties of blackberry jam. *Chemistry Central Journal*, 7, 1-13.
- Półtorak, A., Wyrwicz, J., Moczowska, M., Marcinkowska-Lesiak, M., Stelmasiak, A., Ulanicka, U., Zalewska, M., Wierzbicka, A. & Sun, D.-W. (2015). Correlation between instrumental texture and colour quality attributes with sensory analysis of selected cheeses as affected by fat contents. *International Journal of Food Science & Technology*, 50, 999-1008.

- Pons, M. & Fiszman, S. M. (1996). Instrumental Texture Profile Analysis with Particular Reference to Gelled Systems. *Journal of Texture Studies*, 27, 597-624.
- PROFECO (2007). Quesos crema y doble crema. pp52-57.
- PROFECO (2011). Estudios de calidad de cremas. pp54-62.
- Purwandari, U., Shah, N. P. & Vasiljevic, T. (2007). Effects of exopolysaccharide-producing strains of *Streptococcus thermophilus* on technological and rheological properties of set-type yoghurt. *International Dairy Journal*, 17, 1344-1352.
- Radočaj, O., Dimić, E., Diosady, L. L. & Vujasinović, V. (2011). Optimizing the Texture Attributes of a Fat-Based Spread Using Instrumental Measurements. *Journal of Texture Studies*, 42, 394-403.
- Rao, M. A. (2014). Rheology of food gum and starch dispersions. *Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods*. Springer.161-229
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237.
- Reis, R. C., Minim, V. P. R., Bolini, H. M. A., Dias, B. R. P., Minim, L. A. & Ceresino, E. B. (2011). Sweetness Equivalence of Different Sweeteners in Strawberry-Flavored Yogurt. *Journal of Food Quality*, 34, 163-170.
- Rincón Montiel, O., Reyes Salas, V. M., Rodríguez Galindo, G. & González Sandoval, E. S. (2015). Producción de Zarcamora (*Rubus sp*) var. Tupy con Fertilización Química y Orgánica Bajo Condiciones de Macro Túnel. Ingeniero Agrónomo, Departamento De Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. pp17-20.
- Rojas, C. (2010). Desarrollo y optimización de un producto unttable a base de soya. *Revista Tecnológica-ESPOL*, pp23.

- Rosenthal, A. J. (1999). Food texture : measurement and perception, Gaithersburg [Maryland], Aspen Publishers
- Rozycki, S., Lazzaroni, S., Kock Pomerantz, E., Cristaldi, J., Marano, A., Sabbag, N. & Costa, S. (2010). Modelización del comportamiento reológico del queso untable probiótico, reducido en grasas y sin colesterol. *Congreso Mundial y Exposición INGENIERIA*. Argentina.
- Ruiz Hernández, A. V. (2007). Aplicación de Hidrocoloides en Queso Procesado Untable. Licenciado en Alimentos, Universidad Austral de Chile. Chile. pp3-24.
- SAGARPA (2014). Plan rector estatal. *Sistema Producto Zarcamora A.C.*, pp4-35.
- Sahin, S. & Sumnu, S. G. (2006). Physical properties of foods, Springer Science & Business Media. pp80-90.
- Salek, R. N., Černíková, M., Nagyová, G., Kuchař, D., Bačová, H., Minarčíková, L. & Buňka, F. (2015). The effect of composition of ternary mixtures containing phosphate and citrate emulsifying salts on selected textural properties of spreadable processed cheese. *International Dairy Journal*, 44, 37-43.
- Šamec, D. & Piljac-Žegarac, J. (2011). Postharvest stability of antioxidant compounds in hawthorn and cornelian cherries at room and refrigerator temperatures—Comparison with blackberries, white and red grapes. *Scientia Horticulturae*, 131, 15-21.
- Sánchez-Moreno, C. (2002). Review: Methods Used to Evaluate the Free Radical Scavenging Activity in Foods and Biological Systems. *Food Science and Technology International*, 8, 121-137.
- Sanchez, C., Renard, D., Robert, P., Schmitt, C. & Lefebvre, J. (2002). Structure and rheological properties of acacia gum dispersions. *Food Hydrocolloids*, 16, 257-267.
- Sangiovanni, E., Vrhovsek, U., Rossoni, G., Colombo, E., Brunelli, C., Brembati, L., Trivulzio, S., Gasperotti, M., Mattivi, F., Bosisio, E. & Dell'Agli, M. (2013). Ellagitannins

from *Rubus* berries for the control of gastric inflammation: *in vitro* and *in vivo* studies. *PLoS One*, 8, e71762.

- Sariburun, E., Sahin, S., Demir, C., Turkben, C. & Uylaser, V. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of raspberry and blackberry cultivars. *J Food Sci*, 75, 328-335.
- Sellappan, S., Akoh, C. C. & Krewer, G. (2002). Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Georgia-Grown Blueberries and Blackberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 2432-2438.
- Shah, A. B., Jones, G. P. & Vasiljevic, T. (2010). Sucrose-free chocolate sweetened with Stevia rebaudiana extract and containing different bulking agents - effects on physicochemical and sensory properties. *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 1426-1435.
- Shoemaker, C. F., Nantz, J., Bonnans, S. & Noble, A. (1992). Rheological characterization of dairy products. *Food technology (USA)*, 1, 98-103.
- SIAP. (2013). PRODUCCION AGRICOLA: Ciclo: Ciclicos y Perennes 2013. Modalidad: Riego + Temporal [Online]. México. Available: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap/ientidad/index.jsp.
- Stahl, W. & Sies, H. (2005). Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*, 1740, 101-107.
- Steffe, J. F. (1996). Rheological methods in food process engineering. Freeman press. pp255-358
- Şumnu, G., Ndife, M. K. & Bayindirli, L. (2000). Optimization of microwave baking of model layer cakes. *European Food Research and Technology*, 211, 169-174.
- Tamer, C. E. (2012). A Research on Raspberry and Blackberry Marmalades Produced from Different Cultivars. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36, 74-80.

- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L. & Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 669-675.
- Torres, M. D., Raymundo, A. & Sousa, I. (2013). Effect of sucrose, stevia and xylitol on rheological properties of gels from blends of chestnut and rice flours. *Carbohydrate Polymers*, 98, 249-256.
- Totosaus, A. & Guemes-Vera, N. (2008). Effect of κ - and λ -Carrageenans as Fat-Replacers in Low-Fat Oaxaca Cheese. *International Journal of Food Properties*, 11, 656-668.
- Tunick, M. H. (2000). Rheology of Dairy Foods that Gel, Stretch, and Fracture. *Journal of Dairy Science*, 83, 1892-1898.
- Valencia, C. & Guevara, A. (2013). Elaboración de néctar de zarzamora (*Rubus fruticosus L.*). *Scientia Agropecuaria*, 101-109.
- Velez-Ruiz, J. F. & Barbosa Canovas, G. V. (1997). Rheological properties of selected dairy products. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 37, 311-59.
- Venereo Gutiérrez, J. R. (2002). Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Revista Cubana de medicina militar*, 31, 126-133.
- Verma, R., Gangrade, T., Punasiya, R. & Ghulaxe, C. (2014). *Rubus fruticosus* (blackberry) use as an herbal medicine. *Pharmacogn Rev*, 8, 101-4.
- Vithanage, C. R., Grimson, M. J. & Smith, B. G. (2009). The Effect Of Temperature On the Rheology Of Butter, A Spreadable Blend And Spreads. *Journal of Texture Studies*, 40, 346-369.
- Wang, W.-D. & Xu, S.-Y. (2007). Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. *Journal of Food Engineering*, 82, 271-275.

- Winter, H. H. & Chambon, F. (1986). Analysis of Linear Viscoelasticity of a Crosslinking Polymer at the Gel Point. *Journal of Rheology*, 30, 367-382.
- Wrolstad, E., Culbertson, D. & Nagaki, A. (1980). Sugars and Volatile acids of blackberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28, 553-558.
- Yahia, E. M. (2010). The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. *Fruit and vegetable phytochemicals*. 1, 3-52.
- Zainoldin, K. & Baba, A. (2009). The Effect of *Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus* on physicochemical, proteolysis, and antioxidant activity in yogurt. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 60, 361-366.
- Zhang, X., Yang, Y. & Zhao, D. (2011). Effect of Blueberry on Spreadable Processed Cheese. *Journal of Northeast Agricultural University (English edition)*, 18, 73-78.
- Zueng, H., Barret, P. & Beau, C. (1993). *Nuevas especies*, Madrid, España.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo I. Tablas de parámetros de otros modelos con ajustes obtenidos para cada muestra.

Tabla 29. Parámetros de los modelos de Herschel Bulkley y Sisko para los componentes individuales

Muestra	Herschel-Bulkley				Sisko			
	K	n	σ_0	R ²	K _s	n _s	η_∞	R ²
	(Pas ⁿ)	(-)	(Pa)	(-)	(Pas ⁿ)	(-)	(mPas)	(-)
Zarzamora	0.57	0.88	31.84	0.999	27.03	0.08	206	0.999
Crema	19.76	0.28	31.84	0.933	43.010	0.07	1260	0.968
Queso	63.82	0.18	31.83	0.941	375.100	0.05	1190	0.999

$\sigma = \sigma_0 + K * \gamma^n$; $\eta = K_s * \gamma^{n_s-1} + \eta_\infty$, dónde: σ_0 = Esfuerzo inicial, K= índice de consistencia, n=índice de comportamiento al flujo, n_s = índice comportamiento al flujo de sisko, η_∞ = Viscosidad a gradiente infinito, R²= Coeficiente de determinación, (-) = adimensional, K_s = índice de consistencia modelo Sisko.

Tabla 30. Parámetros de los modelos de Bingham y Sisko para las pastas untables de pulpa de zarzamora con crema

Muestra	Bingham			Sisko			
	η_0 (mPas)	σ_0 (Pa)	R^2 (-)	K (Pas ⁿ)	n (-)	η_∞ (mPas)	R^2 (-)
c/p (3:1)	640	43.56	0.900	36.72	0.05	500	0.994
c/p (1:1)	270	26.54	0.999	14.5	0.17	200	0.995
c/p (1:3)	230	24.86	0.999	12.73	0.178	160	0.995

$\sigma = \sigma_0 + \eta_0 * \gamma$; $\eta = K_s * \gamma^{n_s-1} + \eta_\infty$, dónde: σ_0 = Esfuerzo inicial, η_0 =viscosidad plástica, K= índice de consistencia, n=índice de comportamiento al flujo, η_0 = viscosidad de Bingham, η_∞ = Viscosidad a gradiente infinito, R^2 = Coeficiente de determinación, (-) = adimensional

Tabla 31. Parámetros de los modelos de Casson y Sisko para las pastas untables de pulpa de zarzamora con queso

Muestra	Casson			Sisko			
	Kc (mPas)	σ_0 (Pa)	R ² (-)	K (Pas ⁿ)	n (-)	η_∞ (mPas)	R ² (-)
q/p (3:1)	0.037	129.7	0.93	148.8	0.026	430	0.995
q/p (1:1)	0.078	62.9	0.924	62.72	0.083	230	0.994
q/p (1:3)	0.084	25.24	0.974	25.4	0.14	136	0.969

$\sigma^{0.5} = \sigma_0^{0.5} + K * \gamma^{0.5}$; $\eta = K_s * \gamma^{n_s-1} + \eta_\infty$, dónde: σ_0 = Esfuerzo inicial, Kc =viscosidad Casson, K= índice de consistencia, n=índice de comportamiento al flujo, η_∞ = Viscosidad a gradiente infinito, R²= Coeficiente de determinación, (-) = adimensional

Anexo II. Formato de Evaluación



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN

DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA

Nombre: _____ Fecha: _____ # de Muestra: _____

Instrucciones: Pruebe y observe cada una de las muestras en el orden presentado, una a la vez y marque según la escala presentada a evaluar indicando el grado de aceptabilidad que usted le da a cada uno de estos atributos:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Textura
(Untabilidad):

Color:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Sabor:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Sabor residual:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Aceptabilidad
Global:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones:

--

EL JURADO DESIGNADO POR EL DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, APRUEBA LA TESIS QUE PRESENTA PARA SU EXAMEN FINAL DE MAESTRA EN CIENCIAS EN LA ESPECIALIDAD DE BIOTECNOLOGÍA, LA IAI. STEPHANIE ELIZABETH HEREIRA PACHECO, EL DÍA 23 DE OCTUBRE DEL AÑO DOS MIL QUINCE.

Dr. Juan Alfredo Salazar Montoya

Dra. Emma Gloria Ramos Ramírez

Dr. Ricardo Aguilar López

Dr. Alfredo Cruz Orea