



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**“Efecto de la composición de proceso en el desarrollo de un
chocolate de leche relleno con microesferas”.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:
ERÉNDIRA VELÁZQUEZ VILLEGAS

ASESORAS: IQ. GUADALUPE FRANCO RODRÍGUEZ
IA. MIRIAM EDITH FUENTES ROMERO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

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

Efecto de la composición y condiciones de proceso en el desarrollo de un chocolate de leche relleno con microesferas.

Que presenta la pasante: Eréndira Velázquez Villegas

Con número de cuenta: 307302799 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 08 de Junio de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez	
VOCAL	Dr. Ricardo Baltazar Ayala	
SECRETARIO	I.A. Patricia Muñoz Aguilar	
1er. SUPLENTE	M. en C. Sandra Margarita Rueda Enríquez	
2do. SUPLENTE	I.A. Verónica Romero Arreola	

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

LMCF/cga*

DEDICATORIAS

A ti que te fuiste antes que yo

Aún no termino de entender por qué tú, porque de todas las personas en el mundo, aquellos que realmente hacen daño, tenías que irte tú. Todas las personas alrededor me dicen que salga adelante, que siga caminando... pero no saben cuánto dueles, la vida claro que siguió como siguen muchas cosas sin sentido, uno puede optar por seguir pero sin sentir. ¿Qué podría motivarme a continuar?, tu lucha, tu batalla, tu guerra contra la negatividad y el pesimismo, el saber que si hubiera sido otra persona no me dejarías caer, me acompañarías a cada minuto y harías hasta lo imposible para verme feliz. Creo esa fue tu misión, esa fue tu lección hacia mí. Aún más allá de este plano sigues guiándome y levantándome como aquella persona esperanzada que alguna vez fui. Tu vida fue corta, pero donde quiera que estés, sigues haciendo tanto por mí. Sé muy bien que cada brillo que pasa en mi oscuridad eres tú, mi estrella personal que no pierde la fe en mí aunque yo a veces haya dejado de creer; y si he de atestiguar algo en este mundo, es que el amor traspasa planos, fronteras, miedos, porque puedo sentirte aún en la distancia, aún cuando no puedo verte.

Es por tu cariño que cada día a pesar de mí misma sonrío y procuro que mis palabras y mis acciones sean más nobles, más amorosas, que den esperanza, que pueda transmitir esa paz donde tú estás, ese universo al que regresaste para convertirte en todo... Jamás te irás por completo y no porque me niegue y te quiera retener, sino porque siempre fuiste parte de cada uno de nosotros, gracias por tú manera radiante de vivir (El acorazado).

En memoria de: Benigno Velázquez, Selene Garnica y Oscar Fuentes.

A mis padres **Francisco** y **Josefina**:

Por ese amor incondicional, por el apoyo en mis buenas y malas decisiones el que a pesar de los tropiezos jamás me han juzgado, solo me han brindado su calor gracias por su existencia en mi vida y dejarme conocer el amor más puro, sincero y eterno los amo papás.

A mis hermanos **Sandra**, **David** e **Isaac**:

Peleas interminables, gritos a todas horas, diferencias de pensamiento... pero al necesitar un cómplice, una mano que te levante ahí están ellos, nuestro amor extraño que entre nosotros podemos destrozarnos, pero jamás dejaremos ni permitiremos que nos hagan algo malo... los adoro con mi alma, que sin ustedes no sería completa mi felicidad.

A mi esposo **Daniel Aguilar**:

Por ti, por mí, por los dos y porque lo merecemos... por estar ahí en los buenos, en los malos días en los días en que ni yo misma me soporto, insistes en hacerme sentir especial y apoyarme en las locas decisiones que eh tomado, por seguirme en mis locuras y hacerme reír de la vida, gracias por levantarme y alentarme a seguir creciendo en que viste en mí lo que siempre quise proyectar un intelecto antes que lo físico...

A mis amigos:

Selene, gracias por convertirte en oídos cuando necesitaba quién me escuchase, brazos cuando requería un abrazo sincero y esas sabias palabras que me daban un gran levantón en mis crisis existenciales.

Yesenia, mi alma gemela loca y sincera, jamás cumplida ni puntual a nuestras citas, pero gracias por nunca perder fe en mí y motivarme con cada logro que haces... eres mi inspiración.

Antonio, un gran ser humano, gran persona, gracias por aguantarme porque somos esa amistad que nació de un tu me caías mal... tus buenos consejos sinceros a veces hirientes pero sinceros, sabes que te adoro.

Jared, mujer pequeña pero sumamente peligrosa, la adoro porque en las buenas y malas situaciones no me ha dejado, fiel y de gran corazón por ello la quiero mucho y agradezco tanto su amistad.

Luis, el gran enfermo que al final de la carrera nos juntaron para comenzar una gran amistad y que desde ese momento ha sido un gran consejero, un gran compañero de largas charlas, mi confidente gracias por todo.

Juan Carlos, mi viejito... ¿Quién dice que para las amistades existe edades?, espero y te enorgullezcas de mí, que después de tanto tiempo eh aquí la tesis concluida... gracias por estar cuando más lo eh necesitado, por los consejos, por el apoyo cuando ya no creía en mí, por las buenas fiestas, un gran abrazo.

A mis asesoras:

Guadalupe Franco, por hacer de mis locuras un sueño y de mi sueño una realidad, por creer en el proyecto cuando no había nadie más que apostará por él.

Edith Fuentes, gracias por hacer de mi sueño su sueño por el estar ahí enchinchándome en terminar algo que se veía imposible y el haber surgido una amistad en el transcurso de los años... el haberme escuchado en mis frustraciones.

A la **FES**:

Por formarme académicamente y el haber conocido tanta gente que ha marcado mi vida, en ver en qué tipo de profesionista ser y que jamás quisiera ser...

Índice

	página
Resumen	vi
Introducción	1
1. Chocolate	3
1.1 Historia del chocolate	3
1.2 Clasificación del cacao	5
1.3 Panorama nacional del cacao	9
1.4 Consumo del chocolate	12
1.5 Legislación de grasas vegetales en el proceso del chocolate	14
1.6 Proceso del chocolate	18
1.7 Clasificación de los chocolates	20
1.8 Defectos del chocolate	21
2. Sistemas dispersos	22
2.1 Clasificación de los sistemas dispersos	22
2.2 Factores que afectan la estabilidad en los sistemas dispersos	23
2.3 Geles	24
2.3.1 Propiedades funcionales de los geles	25
2.4 Emulsiones	26
2.4.1 Formación de emulsiones	27
2.4.2 Tipos de inestabilidad	28
2.4.3 Inversión de fases	29
2.4.4 Proceso de emulsificación	29
2.5 Emulsificantes	30
2.5.1 Clasificación de los emulsificantes	30
2.5.2 Emulsificante (Lecitina de soya) empleado en la elaboración del chocolate	31
2.6 Polisacáridos	33
2.6.1 Algarrobo	33
2.6.2 Alginato	35
2.7 Propiedades mecánicas	45
2.8 Reología	47
2.8.1 Clasificación de los fluidos	48
2.8.2 Fluidos independientes del tiempo	50
2.8.3 Flujo dependiente del tiempo	52
2.8.4 Métodos de medición para reología de fluidos	54
2.9 Textura	57
2.9.1 Medida instrumental y sensorial	58
2.9.2 Tipos de prueba instrumentales para la medida de textura	59
2.9.3 Análisis sensorial	60

2.9.4 Pruebas de consumidores	61
2.10 Calorimetría	63
3. Metodología experimental	66
3.1 Objetivo general	66
3.2 Objetivos particulares	66
3.3 Desarrollo experimental	67
3.4 Métodos	71
3.4.1 Preparación de la emulsión base	72
3.4.2 Preparación del chocolate	73
3.4.3 Preparación de microesferas	75
3.4.4 Procedimientos analíticos	76
3.4.5 Medición de estabilidad	77
3.4.6 Medición tamaño de partícula	78
3.4.7 Medición perfil de textura	78
3.4.8 Análisis térmico	80
3.4.9 Análisis sensorial	81
4. Resultados y análisis de resultados	82
4.1 Elaboración de la emulsión base	82
4.1.1 Prueba de estabilidad en emulsión base	83
4.1.2 Prueba de reología en emulsión base	89
4.2 Elaboración de un chocolate	95
4.1.1 Prueba reológica en chocolate	95
4.1.2 Calorimetría en chocolate	97
4.1.3 Pruebas texturales	99
4.3 Elaboración de microesferas	101
4.4 Aceptación del chocolate	104
Conclusiones	112
Bibliografías	113
Anexo	117

RESUMEN

El chocolate fisicoquímicamente es una dispersión de partículas de azúcar, cacao y sólidos de leche en una fase continua (manteca de cacao) a la cual es conocida también como emulsión. La viscosidad y el umbral de fluencia en el chocolate son dependientes del tiempo de cizalla, porcentaje de grasa, cantidad de emulsificante, tamaño de partícula y tiempo de conchado.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la composición y condiciones de proceso en el desarrollo de un chocolate relleno de microesferas de diferentes saborizantes.

Para determinar las condiciones de proceso en la obtención de una emulsión se desarrolló una emulsión base variando su porcentaje de manteca de cacao (20%, 30%), grasa vegetal (5%, 15%) y porcentaje de emulsificante (0.5% y 1.5%) evaluando el efecto de las grasas. Dando como resultado que al tener un porcentaje de grasa bajo se presenta la sedimentación y el cremado de las emulsiones sin ser relevante la adición del emulsificante ya que no forman las suficientes micelas para estabilizar la emulsión, debido a que los enlaces formados no permanecen unidos durante un tiempo prolongado.

Las que presentan una emulsión estable fueron aquellas en que su contenido de grasa es mayor al 30%, debido a que para cristalizar la grasa es necesario que la fase este sobresaturada implicando la formación de núcleos y el crecimiento cristalino según (Douaire, Norton, Suello, Lillford, & Norton, 2014), hasta formar redes tridimensionales, en la cual la grasa que influye en el sistema es la de palma. Al adicionar los componentes minoritarios (azúcar, vainilla, pasta de cacao) las características cambian al momento de que interaccionan con el azúcar sin embargo prevalece su comportamiento adelgazante a la cizalla.

Para el producto final (chocolate) se optó por aquella emulsión que contenía 30% manteca de cacao, 15% grasa butírica, 5% aceite de palma y 1.5% lecitina, por sus características mostradas, previamente para su relleno se realizó la esferificación de los saborizantes por la técnica de gelificación iónica directa. El

chocolate fue moldeado en cubos de 4x4x4 cm, mismos que se sometieron a pruebas de textura, calorimetría y sensoriales determinando que al adicionar este relleno no es significativo para su cambio en textura del chocolate, pero no se puede concluir sobre su calidad debido a que fueron realizados bajo un proceso de laboratorio y el tiempo de conchado (30 min) fue menor al tiempo industrial (14-24 hrs) para el poliformismo del chocolate; sin embargo con la prueba sensorial se tuvo una buena aceptación por lo que el chocolate en sus tres presentaciones es apto para competir en mercado con productos comerciales.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las industrias productoras de chocolate en México utilizan las grasas alternativas de la manteca de cacao por ser más económicas, sin embargo, de acuerdo con la Directiva 2000/36/EC del parlamento y consejo europeo indica que solo está permitido un máximo de 5% de grasa diferente a la manteca de cacao del peso total del producto, para ser llamado "Chocolate", y la grasa debe cumplir con algunas características especiales. Una de las características de la manteca de cacao, es que solidifica a temperatura ambiente, pero funde a temperatura cercana a 36°C, por lo que las grasas que se usen como alternativas deben tener características similares (Cuamba, 2008) como es el caso de las grasas refinadas producidas de la palma y/o del aceite de coco por medio de cristalización (e hidrogenación si es necesario). Estas grasas contienen una gran extensión de pequeñas cadenas de ácidos grasos, y poseen una composición de triglicéridos completamente distinta que la de manteca de cacao (Ramírez, 2011). El chocolate físicoquímicamente es una dispersión de partículas de azúcar, cacao y sólidos de leche en una fase continua (manteca de cacao) a la cual es conocida también como emulsión. Una emulsión se considera, un tipo de sistema disperso constituido por la homogenización o dispersión de dos o más fluidos no miscibles, se forman gracias a la presencia de uno o varios aditivos o agentes emulsionantes capaces de disminuir la tensión superficial en la interfase de las gotas producidas (Gómez, 2006).

Se tiene como objetivo el desarrollar nuevas mejoras además de mantenerse en una constante innovación para la satisfacción de los consumidores, que a su vez está influenciado por los hábitos alimenticios, el clima y la relación entre el poder adquisitivo y el precio (Castrillo & López, 2009).

Actualmente, según la CIAJ (Cámara de la Industria Alimenticia de Jalisco) el consumo per cápita de dulces en México es de 4.5 Kg. En el 2011 el consumo total de la industria confitera sumó 315, 350 toneladas, de los cuales el chocolate fue de 97, 000 toneladas aumentando un 7% del consumo del 2009 (Alimentaria-México, 2015). Teniendo en consideración los datos estadísticos en donde se

muestra que el consumo del chocolate va en aumento, la propuesta de la presente investigación está diseñada para el desarrollo de un chocolate de leche relleno de microesferas con tres diferentes saborizantes en donde se va a evaluar la funcionalidad del uso de la grasa de palma con la manteca de cacao para disminuir el costo generado al ser elaborado con grasas reemplazantes a la manteca de cacao, así como el estudio de la estabilidad de la emulsión moldeada como barra y el gel en forma de microesferas dando como resultado la innovación en una barra de chocolate con leche de la forma convencional, apoyándose en estudios de procesos eficientes y estandarizados tales son los casos de la encapsulación y formación de emulsiones, algunos de los propósitos de la técnica de encapsulación son: el ayudar a que los materiales alimenticios empleados resistan las condiciones de procesamiento y empaquetado, mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos (Parra, 2010). Entre los materiales para la encapsulación se ha observado un gran interés al uso del alginato ya que tiene la capacidad de actuar como agente gelificante, espesante, estabilizante y formador de películas (Avedaño, López, & Palou.E., 2013). El alginato al entrar en contacto con iones de calcio forma un gel de forma instantánea (Cuatzo, 2010), sin embargo en su forma de sal sódica, potásica o magnésica, es soluble en soluciones acuosas a pH mayores a 3.5, también es soluble en mezclas de agua y solventes orgánicos miscibles con ella pero es insoluble en leche, por la presencia de calcio (González, 2009) y el estudio reológico de los alimentos aplicado en las emulsiones nos aporta el conocimiento de su estructura, el control de procesos y finalmente las características reológicas que influyen de un modo considerable en la aceptación de un producto por los consumidores (Adán, 2008).

1 CHOCOLATE

1.1 Historia del chocolate

En el siglo XVII, el botánico sueco Carlos Linneo denominó Theobroma Cacao, en donde su nombre se deriva del griego Theos que significa Dios y broma que significa alimento, es decir, “ el alimento de los dioses”. A causa de lo significativo que era este alimento para los nativos de la antigua mesoamérica (García & López, 2012).

Entre los mayas y aztecas el chocolate era una bebida prestigiosa (Ramírez, 2011) y consistía en dorar las habas de cacao, y en este proceso de tostado, utilizaban vasijas de barro para después molerlas con piedras: a este molido se le agregaba agua fría, en algunos casos especias o miel para que finalmente se agitara y se obtuviera una bebida espumosa (García & López, 2012), reservado a la realeza, la nobleza, los mercaderes de larga distancia y los guerreros de alto rango. Además su función como ofrendas funerarias, la bebida a base de cocoa o los granos de cocoa servía como moneda en la antigua Mesoamérica (Ramírez, 2011).

El cacao crece en regiones con climas tropicales húmedos, existiendo alrededor de 20 especies, aunque solo algunas producen el fruto con valor comercial para la fabricación del chocolate, para evitar un crecimiento por arriba de 2 metros se podan constantemente y comienza a dar frutos alrededor de tres años.

Los frutos de cacao son conocidos como mazorcas, estas no cuelgan del árbol, sino que crecen pegados al tronco, la mazorca pesa alrededor de 1kg y posee entre 20-40 granos las cuales se pueden recolectar dos veces al año.

Las semillas de cacao tiene un alto contenido de grasa (alrededor de un 55% después de fermentado, tostado y secado) que se reduce al separar la manteca de cacao hasta en un 25%. Un 60% de la grasa de chocolate es saturada, rica en ácidos grasos como el esteárico (34%), el palmítico (28%) y ácidos grasos insaturados como el oléico 35%, motivo por el cual es difícil que un chocolate adquiera un sabor rancio. La grasa de las semillas de cacao presenta un

sorprendente fenómeno fisicoquímico que se fundamenta en la cantidad y el tipo de ácidos grasos que contienen (Murgüeza, 2013).

El cacao contiene cerca de 300 compuestos volátiles incluyendo ésteres, hidrocarbólas, monocarbonilos, piroles y otros más. En la Figura 1.1 se muestra las partes principales que componen una semilla de cacao. Los componentes del sabor son ésteres alifáticos, polifenoles, carbonilos aromáticos insaturados, pirazinas y teobromina. El cacao también contiene de 18% de proteína (8% digestible); grasas (manteca de cacao); aminos y alcaloides incluyendo theobromina (0,5 a 2,7%), cafeína (0,25 a 1,43%), tiramina, dopamina, salsolinol, trigonelina, ácido nicotínico y aminoácidos libres; taninos, fosfolípidos. El cacao es una fuente de minerales tales como el potasio, el fósforo, el magnesio, el calcio y vitaminas (Murgüeza, 2013).

El método para extraer la manteca de la pasta de cacao, inventado por un holandés, condujo a la transformación del cacao de una bebida a un producto sólido, que podría ser disfrutada por las masas.

A inicios del siglo XX la industria del chocolate es instalada en los países centroamericanos, debido al fácil acceso de materia prima en la región, por lo que el consumo de dichos productos creció de manera significativa, haciendo de la industria un negocio bastante rentable (Ramírez, 2011).



Figura 1.1: Partes de la semilla de cacao (Beckett S. , 2008).

1.2 Clasificación del cacao

Desde el punto de vista botánico o genético, la especie *Theobroma cacao* puede clasificarse en:

- Criollo. Son considerados como cacao fino por tener sabores y aromas complejos; sin embargo son árboles susceptibles a enfermedades y con bajos rendimientos, destacándose la alta calidad en sus semillas que solo son utilizadas en la elaboración de chocolate. Este tipo de cacao posee un cotiledón entre color pardusco y castaño claro (Ramírez, 2011). Su producción representa menos de un 5% del total mundial. Se cultiva en México, Nicaragua, Venezuela, Colombia, Madagascar y Ecuador (Murgüeza, 2013). En la Figura 1.2 se observa la mazorca del cacao criollo desde el árbol.



Figura 1.2: Cacao criollo (Colín, 2014).

- Forastero: Son los cacaos más corrientes, su producción alcanza el 80% del total mundial. Son especies muy resistentes a enfermedades y con rendimientos muy altos (Murgüenza, 2013), sus frutos son de cáscara dura y lisa, además su almendra es aplanada y el cotiledón de color morado o púrpura y de sabor amargo (Colín, 2004). La apariencia de su mazorca es redonda Figura 1.3 a comparación de un criollo que es más alargada y ovoide.

Se cultiva principalmente en Ghana, Nigeria, Costa de Marfil, Brasil, Costa Rica, República Dominicana, Colombia, Venezuela y Ecuador (Murgüenza, 2013).



Figura 1.3: Cacao forastero amelonado amarillo (Ormeño, 2008).

- Trinitario: Son híbridos obtenidos de las variedades criollas y forasteras, pero con un rendimiento superior a éstas. Son más resistentes a las enfermedades que los criollos y tienen un aroma más fino que los forasteros.

Representa el 20% de la producción mundial. Se cultivan en las mismas zonas productoras del cacao criollo (Murgüeza, 2013). Además de que la mazorca es muy similar al criollo pero en una tonalidad rojiza más leve desde el árbol observe la Figura 1.4.



Figura 1.4: Cacao trinitario (ECOS, 2019).

Tabla 1.1: Características de variedades de cacao.

	Características	Criollo	Forastero	Trinitario
Cáscara	Textura	Suave, arrugado	Duro, suave	Mayormente duro
	Color	Rojo oscuro	Verde	Variable
Baya	Promedio de baya	20 a 30	30 o más	30 o más
	Color de los cotiledones	Blanco, marfil o purpura claro.	Púrpura	Variable: baya raramente blanco
Agronomía	Vida del árbol	Bajo	Vigoroso	Intermedio
	Susceptibilidad a plagas y enfermedades	Susceptible	Moderado	Intermedio
Calidad	Tiempo de fermentación	1-3 días	Normalmente 5 días	4-5 días
	Sabor	Chocolate débil, suave y de nuez	Buen chocolate	Buen chocolate, cacao completo
	Contenido de grasa (g/100 baya)	Bajo 85	Alto 94	Medio 91

(Ohene, 2014).

En la Tabla 1.1 se muestra de forma resumida sus características como textura, color, tiempo de fermentación de las tres diferentes variedades de cacao. Que por sus características el cacao forastero es el de mayor consumo para la fabricación de chocolate fino.

- Composición química

En la Tabla 1.2 se muestra la composición química de acuerdo al tipo de grano de cacao, mostrándose que el cacao trinitario tiene el menor porcentaje en humedad, pero es el más alto en proteína y grasas.

Tabla 1.2: Composición química del cacao.

	Tipo de Cacao		
	Criollo %	Forastero %	Trinitario %
Humedad	36.36	36.87	35.96
pH	6.39	6.36	6.35
Azúcares totales	8.05	8.07	7.62
Proteínas	13.88	13.59	13.97
Cenizas	3.67	3.59	3.69
Grasas	50.99	49.52	52.24

(Ramírez, 2011).

1.3 Panorama nacional del cacao

Actualmente en México, el área establecida con cacao es de 61 600 ha con una producción de 37 000 ton (SAGARPA, 2017). El cultivo de cacao es rentable cuando se produce más de 770 kg de grano por ha (Espinosa, y otros, 2015); sin embargo para el año 2016 se encuentran con cuatro regiones estratégicas abarcando los estados anteriormente mencionados en la Tabla 1.3 se muestra las hectáreas que se cuenta para el sembrío, la superficie cosechada, rendimiento promedio donde la región 6 (comprendida por Chiapas, Oaxaca, Puebla, Tabasco

y Veracruz) tiene el mayor porcentaje de participación en la producción nacional pero su rendimiento es de apenas el 0.42%, la región 7 (Guerrero, Oaxaca) obtiene un 0.99% de rendimiento siendo esta región la mayor de este (SAGARPA, 2017).

Tabla 1.3: Regiones estratégicas en producción y productividad 2016.

Región	Tipo de región (potencial)	Frontera agrícola (ha)	ha con potencial	Superficie cosechada (ha)	Participación en la producción nacional 2016	Rendimiento promedio (ton/ha)	PMR (\$/TON)
4	Potencial	1,305,301	1,277,208	200	.30%	0.40	24,850
5	Potencial	519, 553	517,625	8,583.50	20.58%	0.64	30,693
6	Potencial	4,412,421	4,395,484	49,713.05	78.24%	0.42	42,444
7	Potencial	488,176	487,341	237	0.88%	0.99	8,731
		17,036,656	16,739,005	58,733.55	100%	.046	31,847

(SAGARPA, 2017).

Desde 1948/1949 – 2017, el volumen medio de los superávits de producción ha sido comparable al déficits (110 tons sobre 105 tons), pero los superávits han ocurrido con más frecuencia que los déficits (42 veces sobre 27 veces) por lo tanto los precios mundiales del cacao han estado sometidos a la presión de un mercado a la baja. Cabe señalar que esta baja a sido influenciada por la caída en los precios internacionales, plagas y sustitutos de cacao, por lo que se ha ido desmotivando el sector cacarotero y trayendo como consecuencia el cambio de las plantaciones más rentables.

Se aprecia una tendencia clara:

- A los períodos de precios altos les siguen períodos de excedente de oferta unos años después.
- A los períodos de precios relativamente bajos les siguen períodos de déficit de oferta más adelante (ICCO, 2017).

El factor plagas ha sido crucial para la caída de la producción, la más reconocida en las plantaciones de cacao es la enfermedad Moniliasis, causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, fue detectada por primera vez en el norte de Chiapas en 2005, provocando en un periodo de cuatro años de disminución del 32.1% de la producción nacional (Murgüerza, 2013). La enfermedad se caracteriza por inducir proliferación afectando todos los órganos de crecimiento activo principalmente los brotes tiernos, yemas florales y frutos jóvenes, en los cuales produce hipertrofia y crecimientos anormales causados por un desbalance hormonal inducido.

La producción de frutos disminuye debido al daño durante la floración, los frutos adquieren forma de fresa, son de consistencia dura y posteriormente se oscurecen y mueren Figura 1.5. Las almendras afectadas se adhieren a la cáscara y no son aprovechados debido a que producen una masa de consistencia muy dura “mazorca de piedra” (SENASICA, 2016).



Figura 1.5: Frutos infectados por bruja de escoba. a) Frutos de cacao hipertrofiados con tallo engrosado, b) Fruto en forma de fresa, c) Fruto en forma de zanahoria (SENASICA, 2016).

Para evitar pérdidas en los cultivos se crean apoyos beneficiando a unos 40000 productores de Tabasco, Oaxaca, Chiapas y Veracruz, mediante innovaciones y transferencia de tecnología para aumentar el rendimiento de este producto de 350 kg/ha a 1ton/ha en la misma superficie (SAGARPA, 2017).

1.4 Consumo del chocolate

En México el consumo per cápita es de apenas 0.5 kg/año (SAGARPA, 2017), derivado de mitos que se le atribuyen como generador de obesidad y sobrepeso, a pesar de su importancia gastronómica, económica, social y cultural (Economista, 2017) El 70% de las ganancias de las ventas de chocolate reside en los países industrializados, además cerca del 80% del mercado mundial de chocolates es fabricado por seis empresas internacionales: Nestlé, Mars, Hershey’s, Cadbury, Ferrero y Barry Callebaut (Ramírez, 2011). Dentro de México figura Turin y Bimbo como importantes empresas que aportan ganancias al país (Economista, 2017).

Tabla 1.4: Ranking de los principales países consumidores del chocolate y su consumo per cápita.

Posición	País	Lbs/Año
1	Suiza	19.8
2	Alemania	17.4
3	Irlanda	16.3
4	Inglaterra	16.3
5	Noruega	14.6
6	Suecia	11.9
7	Australia	10.8
8	Países bajos	10.4
9	Usa	9.5
10	Francia	9.3

(Murgich, 2015).

Puede que los principales productores de Cacao sean los países africanos, seguidos de países suramericanos, pero cuando se trata de consumir, son los suizos, famosos por la confección de chocolates, quienes encabezan el ranking como consumidores per cápita de este producto con un consumo anual de 9 kg

(19.8 lbs). Le sigue Alemania en segundo lugar no muy lejos con 7,9 kg (17.4 lbs) y completan el trio los habitantes de Reino Unido, quienes se comen al año unos 7,5 kg (16.3 lbs) de chocolate, tal como lo muestra la Tabla 1.4 (Murgich, 2015). El mercado mundial del chocolate ha estado determinado los últimos años por dos factores fundamentales:

- La volatilidad de los precios de cacao, posicionando al chocolate como un producto cada vez más selecto y obligando a la industria a utilizar cada vez más sustitutos de cacao para abaratar sus costos e incrementar sus ganancias.
- Las constantes compras, funciones y alianzas comerciales son un claro ejemplo de que de la globalización está presente en esta industria.

Se han creado alianzas comerciales como la de Berry Callebaut proveedor de chocolate y licor de cacao a Hersey's, Bimbo y Unilever, aunque estas alianzas aún no tienen tal impacto en sus principales ventas, la Tabla 1.5 indica las tres principales empresas respecto a sus ventas obtenidas en el año 2016.

Tabla 1.5: Ranking de las principales empresas en ventas de chocolate.

Empresa	Ventas netas 2018 (millones de US \$)
Marc's Inc (Estados Unidos)	18 000
Mondeléz International (Estados Unidos)	11 792
Grupo Ferrero	12 390

(Zanetos, 2019).

México es de los pocos países con las condiciones propicias para la producción de cacao; sin embargo hoy en día ocupa el undécimo lugar de producción a nivel mundial con cerca de 22, 000 ton. Por ello en los últimos años el país ha transitado por distintas estrategias de política económica, entre las que destacan: apertura comercial, liberación y promoción de exportaciones. Es decir, con estas estrategias México exporta 550 millones de dólares al año del producto, mientras que importa 410 millones de dólares, lo que representa un saldo a favor para el país.

Aunque esto no ha sido suficiente para fortalecer el sector cacarotero y la industria del chocolate, ya que en México es sabido que su mayor consumo se da en la barra de chocolate en un 3%, el chocolate de mesa y en polvo van en decrecimiento 5 y 1 %, cada uno en su ingesta del país.

Por lo tanto los problemas de la industria nacional del chocolate se pueden resumir en los siguientes factores (Ramírez, 2011):

- Pobreza tecnológica.
- Falta de conocimientos sobre la manufactura del cacao.
- Falta de cacao.
- Falta de más canales de comercialización.
- Falta de innovación en sus productos derivados.
- Falta de estrategias comerciales.

1.5 Legislación de grasas vegetales en el proceso de chocolate

¿Qué indujo a la búsqueda de grasas vegetales adecuadas?, el uso esta relacionada con el alto costo y variabilidad de la calidad y de los suministros del cacao. La posibilidad de “sustituir o estirar” la costosa manteca de cacao, con una grasa vegetal más barata, ofrecía considerables beneficios financieros.

Se reconocía que uno de los principales atributos fisicoquímicos de la manteca de cacao era punto de fusión similar a la temperatura corporal (33-36°C o 91-97°F). Los estudios fueron centrados en encontrar grasas con características semejantes de fusión. Las grasas vegetales más corrientes o comunes era la de copra y la de palma. Se encontró que los aceites se solidificaban de tal forma que las fracciones de fusión superior se solidificaban en forma de cristales relativamente grandes.

La etapa siguiente en el desarrollo de mejores grasas vegetales, se produjo a consecuencia de los avances en las técnicas de hidrogenación, se produjeron tipos diferentes de aceite de copra y de palma hidrogenados y aunque la dureza aumentaba en estos, asociada con la producción de algunas estearinas de muy

alta fusión 44°C, las cuales no se fundían a la temperatura corporal y dejando un residuo céreo/masticable en la boca. Estas grasas hidrogenadas han encontrado aplicación en el chocolate, las coberturas y el mercado de la confitería.

El paso definitivo para poder producir una serie de grasas vegetales durante los años 1950 (Beckett S. , 2003). Esto dió lugar en 1956 a una patente de UNILEVER, por la que se mostraba un método para producir grasa que era casi idéntica a la manteca de cacao, pero que se obtenía a partir de otras fuentes de origen vegetal. Se elaboraban comercialmente y se añadían al chocolate en cantidades diferentes, para 1977 se aprobó una ley en Reino Unido por la que se restringía su uso solo a 5% si el producto se iba a vender como chocolate, al momento en que se le adicionará una mayor cantidad este debería denominarse con sabor a chocolate o cobertura de chocolate (Jeantet, Croguennec, Schuck, & Brulé, 2006).

Después de un período de gran confusión sobre la nomenclatura, ha prosperado la distinción de dos clases de grasa vegetal. Las CBE (Cocoa Butter Equivalents) equivalentes de la manteca de cacao y las CBR (Cocoa Butter Replacers) sustitutos de la manteca de cacao. La definición de la Comisión Económica Europea (CEE) de una CBE, es una grasa que cumple con los siguientes criterios:

- Nivel de triglicéridos de tipo SOS >65% (S ácido graso saturado y O ácido oleico)
- Fracciones de triglicéridos con posiciones dos ocupadas por ácidos grasos no saturados > 85%
- Contenido total de ácidos grasos no saturados con dos o más dobles enlaces <5%
- Nivel de ácidos láuricos <1%
- Nivel de ácidos grasos trans <2%

Excluye a todas las grasas láuricas o hidrogenadas que podrían utilizarse o se utilizan en la actualidad por la industria del Reino Unido (Beckett, 2003).

- **Clase CBE**

Se conocen como equivalentes de la manteca de cacao (CBE), ya que son como la manteca de cacao y puede añadirse en cualquier proporción sin causar un efecto significativo de ablandamiento o endurecimiento (Jeantet, Croguennec, Schuck, & Brulé, 2006). La clave para llegar a un buen resultado, en el sentido de la fase grasa en el chocolate, se basa en que cuando se somete a un régimen de atemperado la fase grasa se solidifique rápidamente dando la cantidad idónea de grasa en la forma cristalina correcta.

Una CBE típica está compuesta por el triglicérido POP (generalmente obtenido a partir de aceite de palma bien por fraccionamiento con acetona, o con otro disolvente) que se mezcla entonces con una grasa o mezcla de grasas ricas en POS y SOS se puede obtener de la sal, cuanto más elevado es el contenido de SOS, más dura será la grasa; y al revés cuanto más alto sea el contenido en POP más blanda será la grasa. Contenidos muy elevados tanto de POP/SOS cristalizan preferentemente como componentes de siembra que pueden producir viscosidad alta en el chocolate atemperado y a problemas en la subsiguiente solidificación al enfriar.

La definición propuesta por la CEE para las CBE basada en la composición química, excluire algunas grasas (Beckett, 2003).

- **Clase CBR**

Otras grasas solo pueden emplearse si sustituyen a casi toda la manteca de cacao, y a estas se les conoce como sustitutos de la manteca de cacao CBR (Jeantet, Croguennec, Schuck, & Brulé, 2006).

Esta clase se puede dividir en dos amplios grupos: el de tipo láurico y el no láurico. Habitualmente ambos grupos son fraccionados y el no láurico con frecuencia hidrogenado también.

Según la legislación actual del Reino Unido, se podría utilizar hasta un 5% de grasas CBR y el producto todavía podría llamarse chocolate. La mayoría de los

fabricantes de chocolate han encontrado una inclusión de 5% de una CBR en una receta típica de chocolate, conduciría a problemas de atemperado, blandura del producto y posiblemente formación de eflorescencia.

Todas las CBR, son las llamadas grasas no atemperables, ya que solidifican directamente desde su estado de fusión en la forma estable β . Esta particularidad evita el costo y complicaciones de las instalaciones de atemperado necesarias para el chocolate y el chocolate que contiene CBE.

Las grasas fraccionadas de palma presentan muy baja compatibilidad con la manteca de cacao (4%) y, por lo tanto, todas las recetas deben estar basadas en polvo de cacao bajo en grasa. Las no láuricas fraccionadas, pretenden ser compatibles hasta un 95% con manteca de cacao, mientras que las grasas de ácidos hidrogenados ricos en trans se dicen que son compatibles al 20% con manteca de cacao. Las CBR cuando se utilizan en una receta correctamente equilibrada rendirán un producto con excelente moldeo, fusión, corte y contracción.

Las comprobaciones físicas importantes serán el comportamiento a la fusión, índice de grasa sólida y curvas de enfriamiento y solidificación. El aspecto microbiológico especificará la ausencia de especies patógenas tales como Salmonella. En el caso de las CBR que han sido hidrogenadas, se especificará un índice de yodo, y en algunos casos se declara el nivel de isómeros de ácidos trans (Beckett, 2003).

Es por ello que de acuerdo a las grasas utilizadas así como su proporción en conjunto con azúcar, vainilla, entre otros; formarán diversas variedades de chocolate como lo son: chocolate de mesa, chocolate con leche, chocolate semiamargo, chocolate amargo, chocolate blanco, entre otros.

1.6 Proceso del chocolate

1. Lavado: los granos de cacao son lavados para la eliminación de suciedad y cuerpos extraños.

2. Tostado: durante esta etapa se desarrolla el aroma original del cacao, también los granos se vuelven más frágiles y generalmente más oscuros, reducción del número de microorganismos presentes en los granos del cacao, sufre de una desnaturalización proteica y reacción de Maillard entre grupos aminos y grupo carbonilo de azúcares.

3. Descascarillado: se retira la cáscara del cacao, para esta operación se usa una máquina.

4. Molienda del grano : son molidos hasta obtener una masa denominada licor de cacao.

5. Prensado: el licor de cacao es prensado mediante presas hidráulicas con el fin de desengrasarlo y obtener así la manteca de cacao quedando una masa sólida llamada torta de cacao.

6. Mezclado: se adicionan los ingredientes correspondientes a la fórmulas del tipo de con un mezclador continuo o discontinuo.

7. Refinado: reducción del tamaño de cacao y azúcar a unas 25 micras.

8. Conchado: se agita y se amasa la pasta de cacao con potentes agitadores mecánicos, con objeto de obtener las propiedades necesarias. En esta fase se presenta la caramelización, eliminación de ácidos volátiles, humedad a una temperatura de 50-70°C durante 10-12 h.

9. Atemperado: pasa por 4 fases, fusión a 50°C, del enfriamiento hasta punto de cristalización 32°C, cristalización 27°C y conversión de cristales inestables a 24-31°C.

10. Moldeo: dependerá del envase a usarse o la presentación final del producto (Colin, 2014).

En la Figura 1.6 se observa el diagrama de proceso para la elaboración del chocolate de manera general, en donde en la parte del mezclado se tiene previamente un mezclado de manteca y azúcar para finalmente se realizó un moldeado.

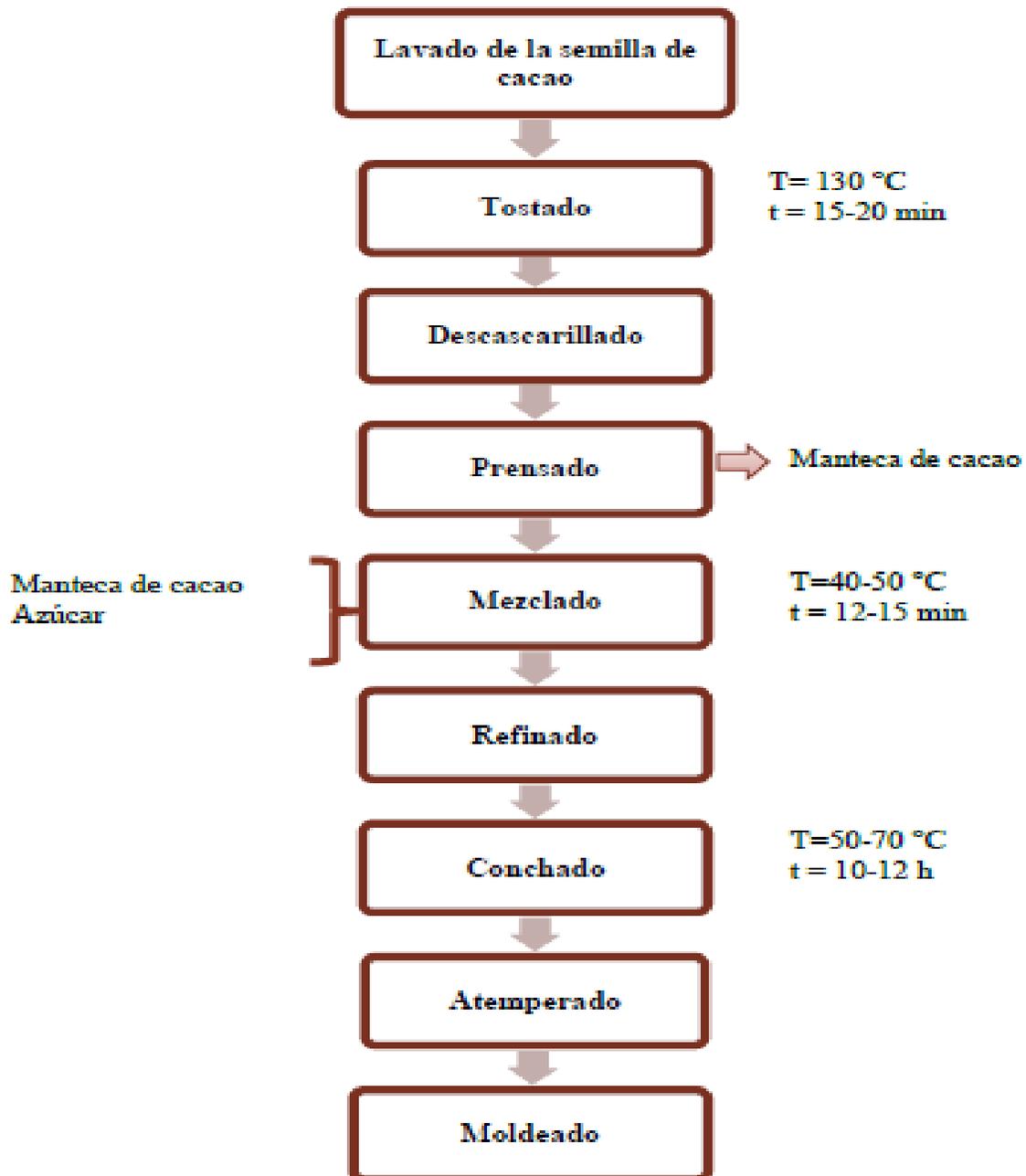


Figura 1.6: Diagrama del proceso del chocolate (Colín, 2014).

1.7 Clasificación de los chocolates

A efectos comerciales, los chocolates se clasifican en:

- Chocolate popular. Debe de contener un 32% como mínimo de cacao.
- Chocolate fino. Debe de contener un 37% como mínimo de cacao.
- Chocolate extrafino. Debe de contener un 42% mínimo de cacao.

El mínimo de cacao se toma en consideración al cacao seco desgrasado y manteca de cacao (Madrid, 2016).

De acuerdo a los productos alimenticios adicionados:

- Chocolate con leche. Elaborado a base de añadir leche a los antes mencionados.
- Chocolate con harina. Obtenido por la mezcla íntima de cantidades variables de cacao o manteca de cacao con azúcar y harinas de trigo o arroz.
- Chocolate con frutos secos o cereales. Es cualquier chocolate al que se ha adicionado almendras, avellanas, nueces, entre otros. Su denominación será la del chocolate de origen, seguida de la del fruto seco o cereal elegido. La cantidad de tales frutos o cereales puede oscilar del 8-40% calculado sobre su peso total.
- Chocolates con gustos especiales. A los que se les añaden miel, extracto de malta, café.
- Bombones con chocolate. Con un contenido mínimo del 10% de chocolates o coberturas. Los preparados con licores, deberán contener un máximo del 6% de alcohol absoluto sobre el peso total del bombón.
- Cobertura de chocolate. Es la mezcla de pasta de cacao y azúcar, con o sin adición de manteca de cacao.
- Coberturas especiales. Se han sustituido total o parcialmente, la manteca de cacao por otras grasas vegetales comestibles o sus fracciones, hidrogenadas o no, distintas de ellas (Madrid, 2016).

1.8 Defectos de los chocolates

Cuando un producto tiene un defecto en la calidad, puede volverse insalubre debido a problemas de inocuidad de los alimentos o inaceptable en sus características sensoriales.

Típicamente existen dos tipos principales de defectos que ocurren en los chocolates durante el manejo, almacenamiento y distribución posterior al procesamiento. Estos incluyen el florecimiento de la grasa (fat Bloom) y florecimiento de azúcar (sugar Bloom).

- Florecimiento de grasa (Fat Bloom)

El florecimiento de la grasa ocurre cuando los cristales de estos sobresalen en la superficie del chocolate o revestimiento del chocolate, perturba el reflejo de la luz y aparece visible como una película blanquecina de grasa, que generalmente cubre toda la superficie, haciendo que los productos sean inaceptables para su comercialización y consumo.

Puede ser causada por: insuficiencia de cristales en el atemperado, una recristalización inapropiada en el temperado, diferentes temperaturas en el centro del chocolate, enfriado incorrecto, migración de grasas, heterogéneo en los recubrimientos del chocolate, manipulación (touch), almacenamiento inapropiado (Madrid, 2016).

- Florecimiento de azúcar (Sugar Bloom)

La aparición del azúcar ocurre a través de condiciones de almacenamiento deficientes o de una transición rápida de productos desde un área de baja a alta temperatura. Ambas condiciones dan como resultado la sudoración del chocolate que consecuentemente disuelve el azúcar. A medida que el agua superficial se evapora, los cristales de azúcar permanecen en las superficies, produciendo un aspecto blanco.

La diferencia entre éstos es: la floración grasa desaparece aplicando temperatura a 38°C, mientras que la floración del azúcar permanece visible (Madrid, 2016).

2 SISTEMAS DISPERSOS

Los alimentos presentan un alto grado de organización molecular, ya que se encuentran constituidos por diversos elementos, considerándose como sistemas dispersos (Vélez, 2012). Un sistema disperso también conocido como coloides es un sistema de multifase heterogéneo en equilibrio, estas dispersiones o coloides se forman al fragmentar una fase en el seno de otra. Este fraccionamiento en partículas pequeñas genera un aumento en la superficie de la interfase (Barrera, 2013). Los sistemas dispersos constan de una fase continua y una discontinua. Tanto la fase continua como discontinua pueden encontrarse en cualquier estado de dispersión: sólido, líquido y gas (Vélez, 2012).

2.1 Clasificación de los sistemas dispersos

Las propiedades de los sistemas dispersos no dependen solo de su composición química sino también de su estructura física (Fennema, 2000). Existen diferentes tipos de clasificación de los sistemas dispersos, de acuerdo a su afinidad de fases, tamaño de partícula y el estado de agregación de la fase continua y la fase discontinua.

- Afinidad de fases

Se denominan liófilos y liófilos, la característica común de ambos coloides es que la fase dispersa se mantiene en suspensión por interacciones electrostáticas con las partículas de la fase dispersante (Badui, 2006).

- Tamaño de partícula

También se pueden clasificar los sistemas dispersos de acuerdo con su tamaño de partícula; en la fase dispersa, se encuentra de un rango de tamaño de 10^{-9} m (1nm) a 10^{-6} m (1mm o m).

Son soluciones verdaderas las que están formadas por una sola fase, (Huerta, 2012). Las dispersiones gruesas, son partículas separables por una fuerza de gravitación o filtración ordinaria, generalmente tienen un tamaño de partícula mayor a 100nm (Badui, 2006).

- Estado de agregación

La última clasificación se basa en las características físicas de cada una de las fases. Para sistemas de dos fases inmiscibles, los coloides se han clasificado en ocho categorías (Badui, 2006), como se muestra en la Tabla 2.1 en la cual hace una breve descripción de cómo está compuesto el sistema disperso y que alimento lo caracteriza.

Tabla 2.1: Clasificación de los sistemas dispersos en alimentos.

Nombre	Fase dispersa	Fase continua	Tamaño de partícula	Ejemplo
Sol	Sólido	Líquido	≥ 1 nm	Leche descremada
Espuma	Gas	Líquido	1 micrón- 1nm	Crema batida
Espuma Sólida	Gas	Sólido	1 micrón- 1nm	Helado, Pan
Emulsión	Líquido	Líquido	1 micrón- 1nm	Mayonesa
Gel	Líquido	Sólido	1 micrón- 1nm	Gelatina
Aerosol (humo)	Sólido	Gas	1 micrón- 1nm	Humo para cárnicos
Aerosol (nube)	Líquido	Gas	1 micrón- 1nm	Poco importantes
Sol sólido	Sólido	Sólido	≥ 1 nm	Poco importantes

(Badui, 2013).

2.2 Factores que afectan la estabilidad en los sistemas dispersos

La estabilidad de los sistemas dispersos depende de múltiples factores relacionados como son:

- Grado de dispersión de la fase dispersa, si el grado de la dispersión de la fase dispersa es elevado y a su vez homogéneo, aumenta la estabilidad del sistema.

- Viscosidad. Al aumentar la viscosidad del medio dificulta la movilidad de las partículas impidiendo que se aproximen. Evitando la formación de los enlaces y así separándose el sistema.
- Carga eléctrica de las partículas dispersas. Las partículas dispersas en un medio líquido tienden a cargarse eléctricamente por adsorción de iones del medio o por pérdida de iones de la partícula, formándose una doble capa eléctrica.
- Temperatura. El aumento de la temperatura reduce la estabilidad de los sistemas dispersos al disminuir la viscosidad y aumentar la movilidad de las partículas.

2.3 Geles

Un gel se define como un sistema difásico en donde está constituido por una red continua de macromoléculas (se orientan formando fibrillas que al interactuar forman una “cuerpo básico “ o “esqueleto”) interconectadas y entrelazadas en una estructura tridimensional sólida, en la que retienen una fase continua de agua, mediante puentes de hidrógenos que son formados por las macromoléculas.

Durante la formación de un gel se pueden distinguir diversas etapas de transición:

- Estado “Sol” donde el polímero forma una disolución; las macromoléculas no están organizadas unas respecto a otras.
- El estado “gel” que aparece cuando las cadenas están suficientemente asociadas para formar una red o gel elástico.

- A medida que las cadenas se organizan entre sí, el se contrae y exuda una parte de la fase líquida (Cuatzo, 2010).

Los diferentes tipos de geles que se encuentran en los alimentos presentan diversos grados de rigidez y elasticidad, lo cual dependen de muchos factores, tales como son el número de uniones que se establezcan, el tipo de polímero (polisacáridos, proteínas, quitina, quitosan, entre otros) y su concentración; también influyen el pH, sales y la temperatura del sistema.

2.3.1 Propiedades funcionales de los geles

Dentro de la formación de geles se pueden encontrar varios fenómenos (sinéresis, exudado) de acuerdo a las condiciones en las que sea sometida el gel, uno de los principales y muy común observar es la sinéresis.

La sinéresis es un fenómeno que se presenta comúnmente en los geles y consiste en una exudación de la fase acuosa que elimina parte constituyente del gel. El líquido exudado está compuesto en parte por las propias moléculas coloidales en forma diluida. La sinéresis implica una contracción del gel, lo que origina la expulsión de agua. Esta contracción se debe a un reacomodo físico de las macromoléculas que adquieren una estructura más estable y provocan un ajuste en las interacciones soluto-disolvente. Se ve influida por diversos factores como: pH (Es afectada por el pH del sistema y alcanza su máximo cuando se presenta el punto isoeléctrico), temperatura (la temperatura a la que se mantiene el gel). La presión ejercida sobre el gel contribuye y la naturaleza de la fase dispersa (Badui, 2006).

2.4 Emulsiones

Es un sistema formado por dos líquidos parcialmente miscibles, en el cual una se encuentra disperso en el otro (Barrera, 2013). La fase dispersa o discontinua se forma de gotitas o cristales líquidos, y otra no dispersa o continua (Santander & Solis, 2006); son inestables y si se les permite reposar por algún tiempo, las moléculas de la fase dispersa tienden a asociarse para constituir una capa que puede precipitar o migrar hacia la superficie, dependiendo la diferencia de densidades entre las dos fases (Soto, 2012).

Las emulsiones se pueden clasificar en dos tipos: Emulsión aceite en agua (Aceite /Agua) significa que el aceite se encuentra disperso dentro de una fase acuosa, mientras que una emulsión agua en aceite (Agua/Aceite) tiene al agua en gotas dentro de una fase oleosa (Barrera, 2013).

La mayoría de las emulsiones que se encuentran en los alimentos están compuestas por las emulsiones de tipo aceite en agua, aunque pueden contener otros elementos que no necesariamente se encuentren emulsionados, en los alimentos generalmente no se presentan emulsiones sencillas (Soto, 2012).

Las variables más importantes que determinan las propiedades de una emulsión son:

- Tipo de emulsion (Aceite /Agua – Agua/Aceite). El tipo determina entre otras cosas, con que líquido puede diluirse una emulsion.
- Distribución del tamaño de las gotas: Generalmente las gotas más pequeñas constituyen emulsiones más estables. La amplitud de la distribución de tamaño es igualmente importante, por la gran dependencia de la estabilidad con respecto al tamaño de partícula.
- Fracción volumétrica de la fase dispersa (φ). En la mayor parte de los alimentos φ oscila entre 0.01 y 0.4.

- Determina la tensión interfacial, las fuerzas de interacción coloidales. La composición y grosor de la película superficial en torno a las gotitas.
- La composición de la fase continua que determina las relaciones entre el disolvente y el surfactante y, por lo tanto, las interacciones coloidales. La viscosidad de la fase continua afecta considerablemente el desnatado.

2.4.1 Formación de emulsiones

Para obtener una emulsión se necesita: agua, aceite y un emulgente (es decir, un surfactante) y energía (generalmente mecánica). Elaborar las gotas es fácil, sin embargo el romperlas para generar otras más pequeñas es difícil, debido a que las gotas se resisten a una deformación y a la rotura, ya que a ello se opone la presión de Laplace.

Siendo mayor la presión cuanto más pequeña sea el diámetro de la gotícula. Se necesita un considerable consumo de energía, sin embargo, ésta puede ser reducida al momento en que la tensión superficial también disminuye, por lo tanto, disminuye la presión de Laplace, añadiendo un emulgente será el que actuó como reductor en estos factores. Cuando hay suficiente emulgente para cubrir totalmente la interfase nueva recién formada, el aporte de energía por el material de emulsificación constituye el factor limitante para el tamaño de las gotas de la emulsión.

En general, la forma de rotura de las gotas se puede comprender a partir de la competición entre dos tipos de fuerza: una fuerza externa por el flujo que tiende a deformar la gota y una fuerza interna de reconstitución, que tiende a conservar la forma inicial de la gota (Jeantet, Croguennec, Schuck, & Brulé, 2006).

2.4.2 Tipos de inestabilidad

En las emulsiones se distinguen tres tipos de inestabilidad como se menciona a continuación

- Cremado: Es el desplazamiento de gotas de aceite por efecto de la gravedad formando una capa por encima de la emulsión sin cambio en tamaño de gotas.
- Sedimentación o desnatado: Es el desplazamiento de las gotas de aceite hacia el fondo de la emulsión.
- La floculación o la agregación de las gotas: Es la reagrupación de gotas de aceite formando racimos, dando un aumento de tamaño aparente en las gotas.
- La coalescencia o la fusión de las gotas de aceite: Es la fusión de dos o más gotas de emulsión para formar una sola gota de mayor tamaño.

En la figura 2.1 se muestra de manera gráfica las etapas y/o tipos de inestabilidad que presenta una emulsión de acuerdo a las condiciones del proceso en que son sometidas.

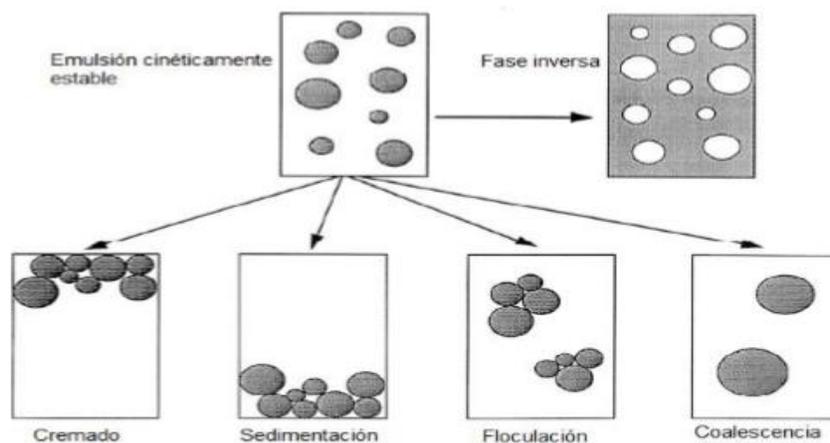


Figura 2.1: Proceso de inestabilidad de las emulsiones (Rendón, 2016).

Los fisicoquímicos y los especialistas en emulsiones han identificado un número importante de factores generales que aparecen correlacionados con la estabilidad de las emulsiones con relación a los fenómenos característicos del desnatado, floculación y coalescencia. Una reseña clara se atribuye al estudio relógico, ya que se reconoce una relación estrecha entre la estabilidad y la reología de las emulsiones (Hernando, 2014).

2.4.3 Inversión de fases

Una emulsión del tipo aceite/agua se puede convertir en tipo agua/aceite y viceversa, conociéndose como inversión de fases. Esta ocurre al variar las condiciones de proceso de la formación de la emulsión: Orden de adición de los componentes, proporción volumétrica de las fases, la temperatura y la presencia de electrolitos u otros aditivos (Barrera, 2013).

2.4.4 Procesos de emulsificación

Cualquiera que sea la elección del proceso de emulsificación, la rotura de los elementos de una dispersión necesita de un cizallamiento suficiente con el fin de obtener una dispersión de la fase lipídica lo más eficaz posible. Se han ideado numerosos equipos para fabricar emulsiones. Entre todas estas técnicas, algunas se utilizan únicamente en el laboratorio (agitadores, vibradores, magnetostricción, aerosoles, entre otros). Los aparatos más utilizados en aplicaciones industriales son: los rotor-stators, los molinos coloidales, los homogenizadores de altas presiones ($P < 100\text{MPa}$) y los sistemas de ultrasonido. Hay que destacar que la mayor parte de las veces se utilizan dos técnicas combinadas (Jeantet, Croguennec, Schuck, & Brulé, 2006).

2.5 Emulsificantes

Los emulsificantes son agentes que modifican la tensión superficial de un líquido y la tensión interfacial entre dos líquidos inmiscibles (Barrera, 2013). Están constituidas por un extremo no polar (hidrocarbonada) y un extremo polar, la parte hidrocarbonada es poco soluble orientada hacia la fase oleosa y el extremo polar hacia la fase acuosa teniendo interacciones fuertes.

La concentración de estos en la interfase provoca la disminución de energía superficial y provocando una disminución en la tensión superficial.

Conforme aumenta la concentración del emulsificante en la solución la superficie se encuentra completamente saturada y las moléculas restantes del surfactante que estén en el seno del líquido, se asocian formando nuevas estructuras se conocen como micelas.

2.5.1 Clasificación de los emulsificantes

Los emulsificantes están clasificados en cuatro grupos de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas: (Heredia, 2008)

- Agentes tensoactivos aniónicos.
- Agentes tensoactivos catiónicos.
- Agente tensoactivos no-iónicos
- Agente tensoactivos anfóteros o anfólitos.

Los emulsificantes de uso alimentario son ésteres incompletos de ácidos grasos y polialcoholes o ácidos orgánicos solubles en agua, constan de una parte hidrofílica y otra hidrofóbica (Santander & Solis, 2006).

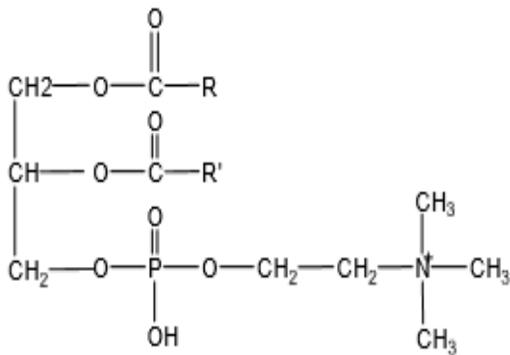
2.5.2 Emulsificante (lecitina de soya) empleado en la elaboración del chocolate

La lecitina es un fosfolípido muy conocido por su uso como emulgente para la formación y estabilización de mezclas aceite-agua. Las lecitinas se extraen generalmente, por disolventes del aceite de soya que las contienen en proporciones elevadas (2 a 3%). Mediante el proceso conocido como desmucilagínación que consiste en disminuir la solubilidad de los fosfolípidos presentes en el aceite añadiendo del 1 al 3% en volumen de agua (Heredia, 2008).

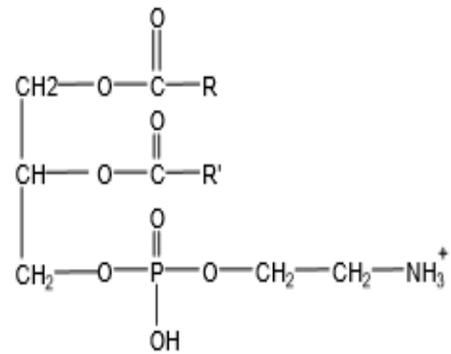
La estructura de los principales componentes de superficie activa de la lecitina es la fosfatidilcolina (PC), la fosfatidiletanolamina (PE) y el fosfatidilinositol (PI), en la Figura 2.2 se muestra cada una de estas estructuras de manera química. La fosfatidiletanolamina y fosfatidilcolina son tensioactivos anfóteros, mientras fosfatidilinositol es aniónico. Otros materiales de superficie activa también se encuentran en concentraciones algo más bajas, estos incluyen lisofosfátidos, y glicolípidos (Beckette, 2003).

La lecitina es capaz de unirse al azúcar dejando el otro extremo de la molécula libre en la fase grasa para facilitar el flujo. Se afirma que las adiciones de entre 0.1 y 0.3% de lecitina de soya, reducen la viscosidad más de 10 veces su mismo peso de manteca de cacao (Beckett, 2003), además los chocolates que contienen lecitina u otro agente con actividad de superficie, pueden tolerar cantidades mayores de humedad que aquellos que no contengan emulgentes.

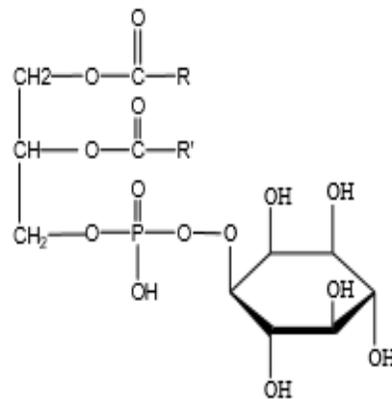
Sin embargo, demasiada lecitina puede llegar a ser perjudicial para las propiedades de fluencia ya que a altas cantidades, por mencionar un ejemplo a un 0.5% se observa que el umbral de fluencia va en aumento al ir adicionando la lecitina, aunque su viscosidad plástica continua en disminución, en estudios anteriores se mostró que con este porcentaje de lecitina cerca de un 85% de la cantidad de azúcar quedaba recubierto. Por encima de este valor la lecitina tenía el efecto de unirse a sí misma y formar micelas, o formar una bicapa alrededor del azúcar, en cualquiera de ambos efectos pondrá dificultad al flujo.



FOSFATIDILCOLINA



FOSFATIDILETANOLAMINA



FOSFATIDILINOSITOL

Figura 2.2: estructura de los principales componentes de la lecitina (Heredia, 2008).

La cantidad real de lecitina que puede emplearse antes de que ocurra este espesamiento, depende de cierto grado de la distribución del tamaño de las partículas, es decir, en un chocolate finamente refinado, la cual tiene un área específica de superficie grande, tendrá un umbral de fluencia relativamente elevado, debido a que por el hecho de una mayor área para recubrir, puede utilizarse más lecitina antes de que tenga lugar este incremento del umbral de fluencia (Beckette, 2003).

2.6 Polisacáridos

2.6.1 Algarrobo

Es un polisacárido neutro constituido de manosa y galactosa (Caballero & Donna, 2014). El endospermo fuente del hidrocoloide será aquel que aporte las propiedades espesantes de este, representa un 2.4-3% del peso del fruto.

En la Figura 2.3 se muestra la morfología del como se constituye y de donde se localiza el endospermo ubicado en la semilla.

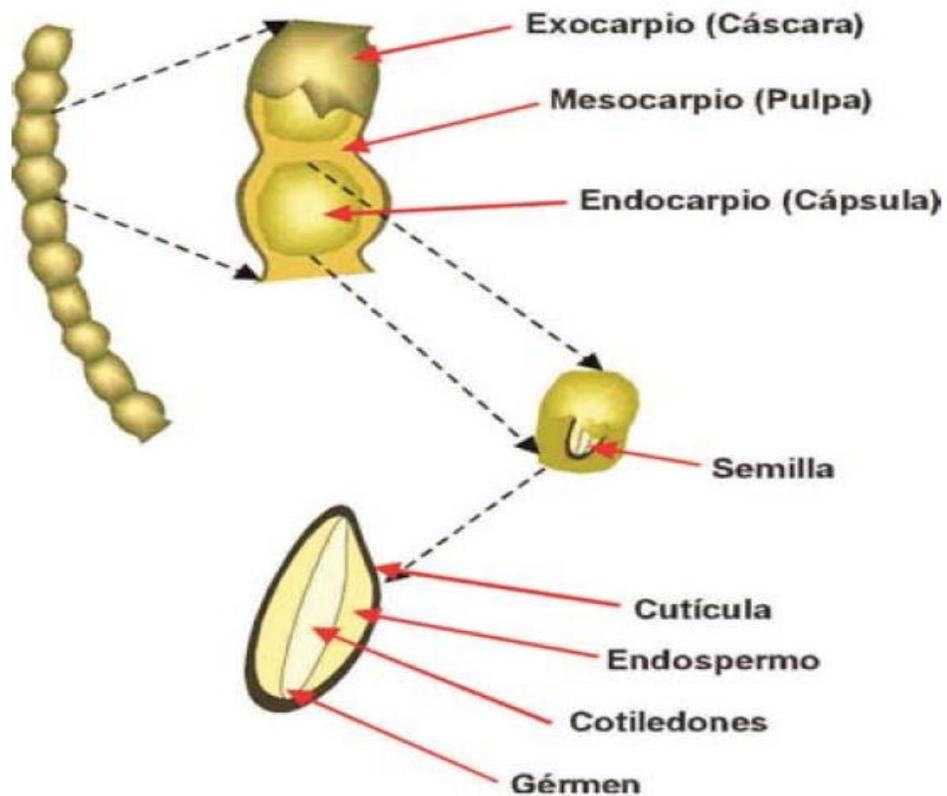


Figura 2.3: Estructura del Algarrobo (Rozycri, 2007).

- Estructura del Algarrobo

Sus polisacáridos llamados galactomananos, consisten en un esqueleto de manosa el cual aumenta su solubilidad en agua por la presencia de unidades simples de galactosa, como cadenas laterales (Rozycri, 2007), formando la famosa goma de algarrobo. En una relación 7:5, en base a los análisis de los espectros de RMN mono y bidimensionales se puede indicar que la cadena de manosa tiene uniones $\beta(1-4)$, parcialmente sustituida en la posición 6 por residuos α -D-galactopiranosilos (Lira, 2005) Figura 2.4.

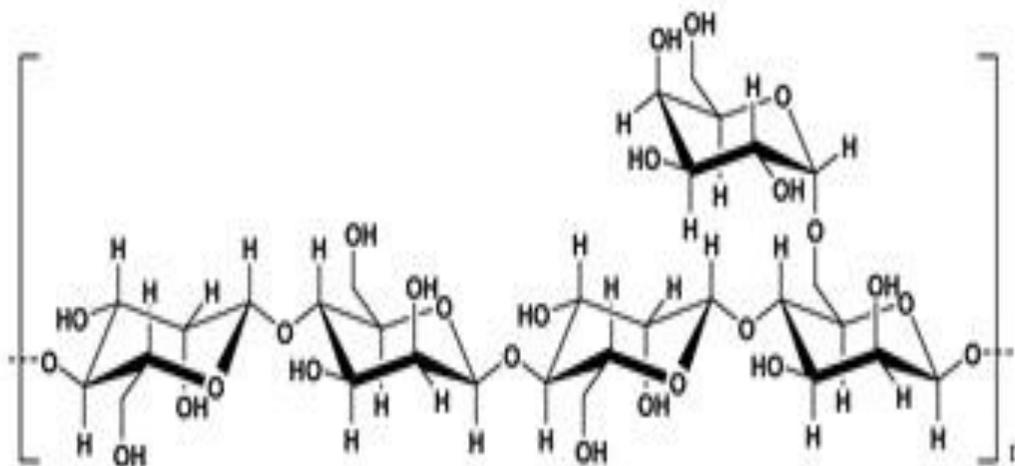


Figura 2.4: Estructura química del Algarrobo (Hablemos claro, 2017).

- Solubilidad

La solubilidad es directamente proporcional al pH y a cationes divalentes (Villanueva, 2014). En sistemas acuosos o lácteos es insoluble en agua fría y soluble en agua muy caliente, siendo que su viscosidad máxima se alcance cuando es calentada a 95°C, sin embargo las dispersiones deben realizarse a 85°C y después enfriarse

- Viscosidad

La goma de algarrobo se dispersa formando dispersiones estables y con propiedades de viscosidad intermedias entre la goma guar, aún en concentraciones inferiores al 1%.

La viscosidad de la goma de semilla de algarrobo depende de varios factores, tales como el tipo de extracción. La viscosidad de las dispersiones de algarrobo se incrementa al aumentar la concentración debido a una mayor presencia de soluto en la dispersión. Se ha observado que no existe diferencias significativas en los valores de viscosidad al variar los valores de pH entre los rangos de 3-5; lo que indicaría un comportamiento no-iónico de la goma. El ión sodio no afecta significativamente la viscosidad, en cambio, el ión calcio presenta variaciones moderadas en la viscosidad en diferentes concentraciones.

En las dispersiones de algarrobo, existen una relación inversa entre la viscosidad y temperatura, por lo tanto, la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura independiente del método de extracción, concentración y pH (Lira, 2005).

2.6.2 Alginato

El alginato es el término genérico que se utiliza para denominar las sales y derivados del ácido alginico. Este polisacárido se presenta como una mezcla de sales insolubles de calcio, sodio, potasio y magnesio (Arvizu, Hernández, & Rodríguez, 2002) presentes en la pared celular de las algas pardas (Peso, Frontela, González, Ros, & Martínez, 2012) representando un 40% de su peso en base seca. Cuya función principal es dar rigidez, elasticidad, flexibilidad y capacidad de enlazar agua (Avedaño, y otros, 2011).

- Estructura del Alginato

El ácido alginico es un polisacárido de alto peso molecular debido a que se estructuran en cadenas lineales de polímeros, compuestos por monómeros de

ácido β -D-manurónico y α -L-gulurónico (Figura 2.5) unidos por enlaces glicosídicos (1-4).

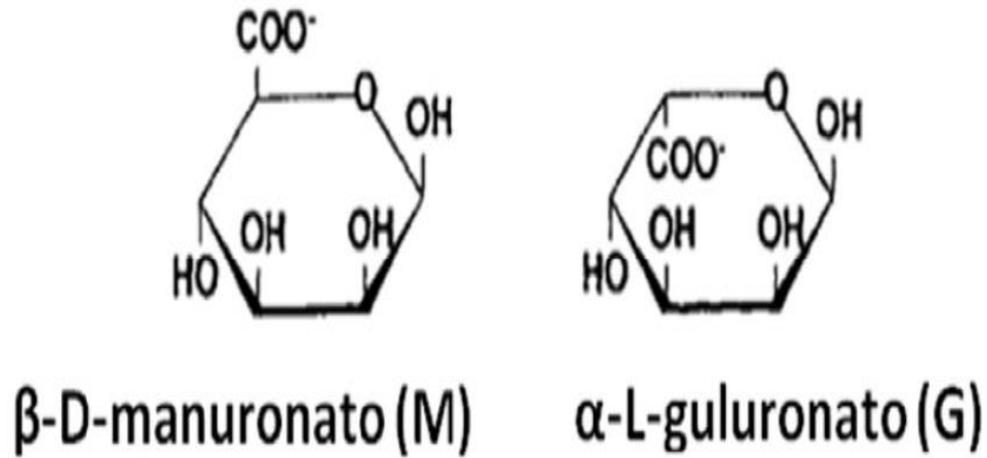


Figura 2.5: Estructura de los monómeros constituyentes del alginato (Ayarza, 2014).

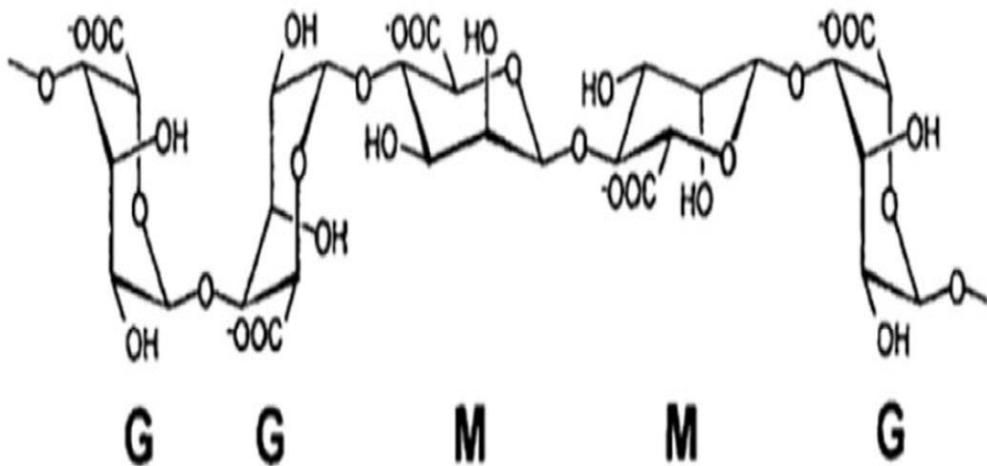


Figura 2.6: Diversas formas estructurales en el polímero dependiendo de la secuencia adoptada por los monómeros (Ayarza, 2014).

Los monómeros se pueden organizar en paquetes homopoliméricos ricos en ácido gulurónico (GG) una estructura abultada o capsular, ricos en ácido manurónico (MM) una estructura tipo cinta plana y en paquetes heteropoliméricos alternando los dos ácidos (MG), su estructura es similar a la de una escalera (Ayarza, 2014) mostrado en la Figura 2.6.

En la Figura 2.7 se muestra los enlaces del alginato para la formación de un gel en donde por su estructura forma enlaces estables.

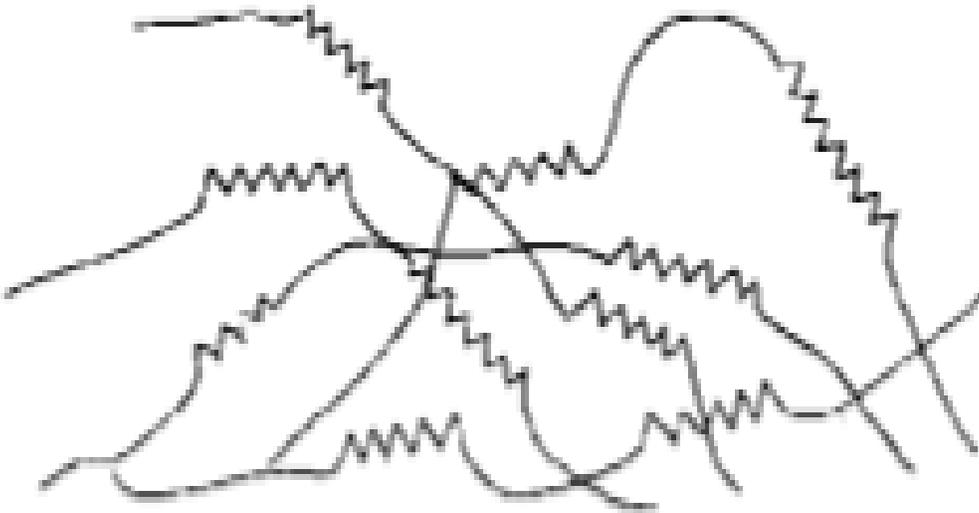


Figura 2.7: Cadenas de alginato mostrando los bloques de copolímero de M y G.

- Solubilidad

El alginato, en forma de sal sódica, potásica o magnésica, es soluble en soluciones a pH mayores de 3.5, debido a que los cationes monovalentes del ácido algínico y su éster de propinglicol son solubles en agua, sin embargo, también existe el ácido algínico con sales polivalentes en el cual son insolubles en agua, tal es caso del calcio. Existen diversos factores que influyen en la solubilidad del alginato dividida en dos categorías: Físicas (tamaño y forma de partícula) y

químicas (presencia de cationes polivalentes, en soluciones de aguas duras y leche, solventes).

- Viscosidad

La viscosidad es la característica principal de las soluciones de alginato y junto a su reactividad frente a los cationes polivalentes como el calcio, es la que genera las características únicas de tales compuestos como espesantes, estabilizantes, gelificantes, etc. (González, 2009).

Al disolverse en agua, las moléculas se hidratan y aumenta su viscosidad. En una solución ácida el alginato formará un gel, ya que a pH bajo los grupos carboxílicos de los ácidos urónicos aceptan protones, lo que hace que se favorezca la formación de enlaces de los bloques G. En un medio ácido, la viscosidad se va incrementando por la disminución de la solubilidad del ácido algínico libre, precipitando en forma de gel a un pH en el intervalo de 3-4 (Avedaño, López, & Palou.E., 2013).

La viscosidad de las soluciones de alginato puede ser muy variables y no solo dependerán de la longitud de las cadenas, sino que, está en función de numerosos factores, entre los que cabe mencionar los siguientes: Peso molecular, Concentración, Temperatura, pH y Fuerza iónica (González, 2009).

- Propiedades de los alginatos

Existen diferentes organizaciones (FAO, CODEX, WHO) que aseguran el uso de los alginatos en los alimentos, donde se establece los límites de ingesta diaria de ácido algínico y de sus sales derivadas para los humanos, es de 50mg/kg de peso corporal, y del alginato de propinglicol de 25 mg/kg de peso corporal (Avedaño, López, & Palou.E., 2013)

La aplicación de los alginatos se basa en tres propiedades (FAO, 2003), El primero es su capacidad, cuando se disuelve en agua, por lo que se genera un

aumento en su viscosidad de la solución. La segunda es su capacidad para formar geles; se forman mediante una reacción química en donde hay un intercambio iónico, generando la formación de enlaces entre las cadenas adyacentes del polímero del alginato, no es necesario la aplicación de calor, además no se rompen las cadenas al someterlas a calor. La tercera propiedad de los alginatos es la capacidad de formar películas.

La capacidad del alginato como estabilizante se mide en función de su grado de polimerización (GP), el cual es una medida del peso molecular promedio de las cadenas que lo constituyen y se relaciona directamente con la viscosidad de sus soluciones. La pérdida de viscosidad en el almacenamiento es una medida del grado de despolimerización del alginato (Avedaño, López, & Palou.E., 2013).

Estas ventajas del alginato y las recientes tendencias tecnológicas se han fusionado en la técnica de microencapsulación (Avedaño, López, & Palou.E., 2013) o encapsulación, en definición, como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa, esta membrana, barrera o película está generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (Parra, 2011), además para ser protegido por el medio ambiente. En un sentido amplio, provee un medio de envasar, separar y almacenar materiales en escala microscópica para su liberación posterior bajo condiciones controladas (Rodríguez, 2005).

Entre los materiales a encapsular dentro del área de alimentos se pueden mencionar saborizantes, antioxidantes, colorantes, ácidos reguladores, agentes antimicrobianos, nutraceuticos y terapéuticos, vitaminas, minerales, edulcolorantes, enzimas y levaduras. El material que es cubierto se refiere a fase interna o núcleo y el material que recubre es llamado pared y generalmente no reacciona con el materia a encapsular (Cuatzo, 2010).

- Estructura de las microcápsulas

Existen diferentes tipos de microcápsulas las cuales presentan una amplia variedad de estructuras, esféricas en donde esta formada por una fase interna continua rodeada por una pared también continua (partícula simple) o irregulares la cual, su fase interna se encuentra distribuida en una matriz de material o cubierta (estructuras agregadas) (Cuatzo, 2010). Además se pueden tener una estructura en forma de espuma en donde el material activo se encuentre repartido en toda la microcápsula y la cubierta, permanecer intacta, o en una estructura abierta en forma de red. También se pueden encontrar microcápsulas en las que el material activo está disperso en la matriz que sirve como cubierta, tanto como una esfera llena como en la periferia.

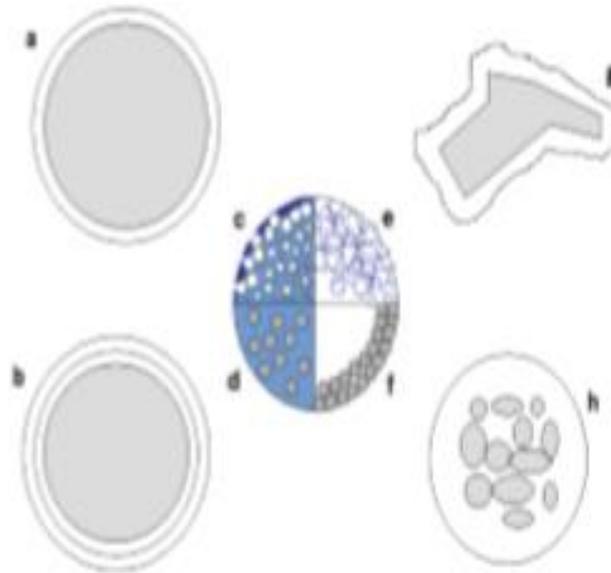


Figura 2.8: Tipos de cápsulas: a) esfera simple, b) doble capa, c) estructura agregada, d) estructura combinada

Dependiendo de las características fisicoquímicas del material activo, de la composición del material pared y de la técnica de microencapsulación utilizada, se podrán obtener los diversos tipos de partículas que se presentan en la Figura 2.8 (Reyes, 2010)

- a) Esfera simple: material o núcleo rodeado de una capa con espesor uniforme. Se puede tratar de una cubierta inerte alrededor del núcleo.
- b) Partículas irregulares: con núcleo sin forma definida.
- c) Estructura agregada: con varios núcleos dentro del material de encapsulación. El compuesto encapsulado se encuentra disperso en el medio encapsulante.
- d) Estructura combinada: este tipo de cápsulas se obtienen por congelación del material ya encapsulado y cubierto de nuevo con otro material de cubierta (Cuatzo, 2010).

Métodos de encapsulación

Para preparar las cápsulas hay numerosas técnicas, y se ha surgido que podrían identificarse más de 200 métodos en la literatura de patentes. Y es previsible que ese número siga creciendo en la que vayan apareciendo nuevos materiales de encapsulación y surjan nuevos principios activos que requieran procesamientos específicos para su encapsulación (Cuatzo, 2010).

La selección de la técnica de encapsulación adecuada se ve determinada por las propiedades físico-químicas del material soporte y la aplicación final deseada con el objetivo de asegurar la biodisponibilidad de los compuestos, su funcionalidad e incluso su fácil incorporación en los alimentos sin la alteración de sus propiedades sensoriales (Lupo, González, & Maestro, 2012).

- Mecanismos de gelificación iónica

En esta técnica es el resultado de la reacción entre un polisacárido y un ión de carga opuesta dando la formación de la cubierta de las cápsulas, también se conoce como método de goteo con alginato, éste ha sido extensamente utilizado debido a que es un método fácil de reproducir en un laboratorio. El proceso se lleva a cabo rápidamente y se puede encapsular cualquier tipo de alimento ya sea hidrofóbico, hidrofílico, termosensible, líquido o sólido (Cuatzo, 2010).

Los mecanismos de gelificación iónica que se ha llevado fundamentalmente por dos procesos: la gelificación directa y la gelificación inversa (Lupo, González, & Maestro, 2012).

La gelificación directa ocurre con la difusión del ión calcio hacia la solución de alginato de pH neutro. En la Figura 2.9 se observa como es que la formación del gel se inicia en la interfaz y avanza hacia el interior a medida que la superficie se encuentra saturada de iones calcio, de manera que el ión sodio proveniente de la sal de alginato es desplazado por el catión divalente solubilizado en agua. Éste interacciona con los bloques G de diferentes moléculas poliméricas, entrelazándolas entre sí. Aunque la fuente de calcio más usada ha sido el CaCl_2 , debido a su mayor porcentaje calcio disponible, existen otras sales empleadas con menor frecuencia tales como el acetato monohidratado de calcio el lactato de calcio (Lupo et col, 2012). Además el tamaño de partícula que se obtiene es grande entre 400mm y 1mm (Parra, 2010).

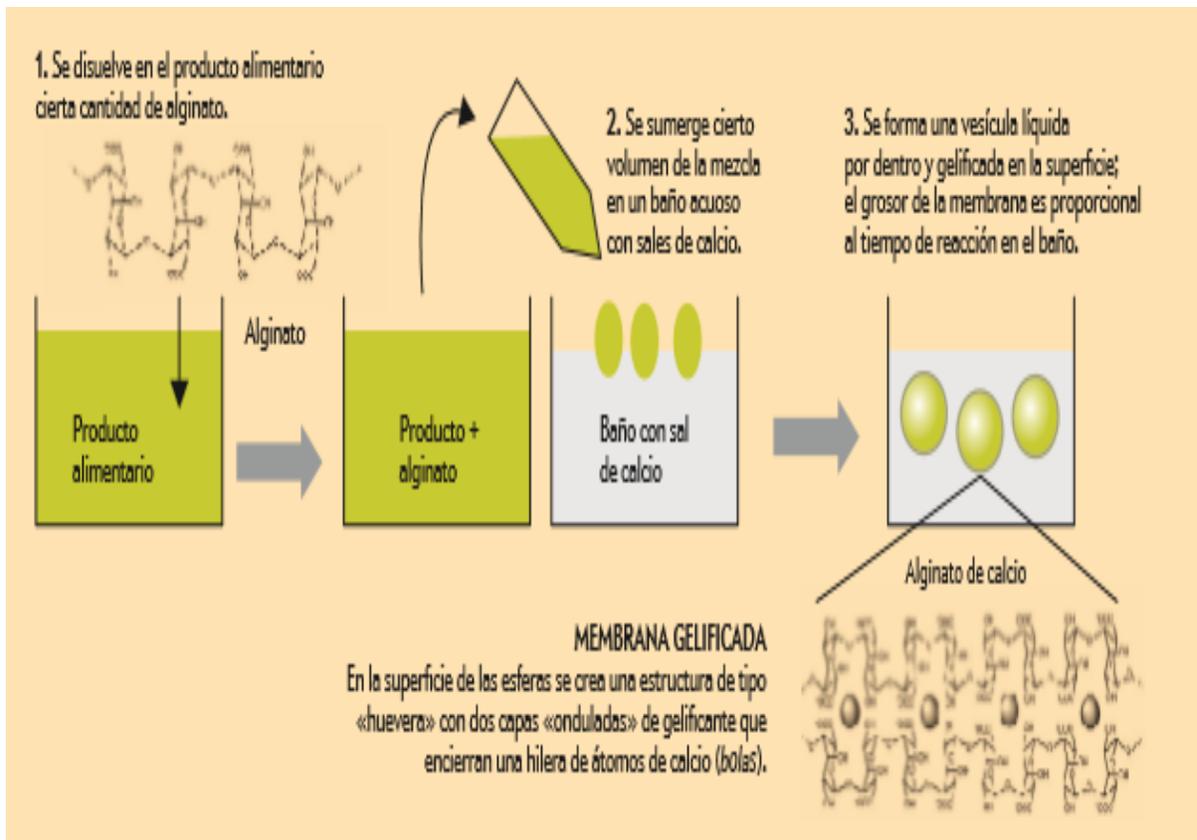


Figura 2.9: Mecanismo de gelificación iónica (Mans et col).

El proceso de gelificación inversa se muestra en la Figura 2.10 que consiste en la liberación controlada del ión calcio desde una fuente interna de sal de calcio insoluble o parcialmente soluble dispersa en la solución de alginato de sodio. La liberación del ión de calcio puede ocurrir si se tiene una sal de calcio insoluble a pH neutro, pero soluble a pH ácido, por lo que es necesario adicionar un ácido orgánico que al difundirse hacia la sal permita la acidificación del medio consiguiendo solubilizar los iones calcio. En este caso, las sales de calcio más empleadas son el carbonato de calcio y el fosfato dicálcico y el citrato tricálcico. Para la acidificación del medio se emplean ácidos orgánicos como el acético, adípico y el glucono delta-lactona. Si la sal de calcio es parcialmente soluble, el proceso de gelificación inversa consiste en la adición a la mezcla alginato-sal de calcio, de un agente secuestrante como fosfato, sulfato o citrato de sodio. Al adicionar un secuestrante éste se enlaza con el calcio libre retardando así el

proceso de gelificación. El sulfato de sodio ha sido comúnmente el más empleado debido a su bajo costo y conveniente solubilidad (Lupo, González, & Maestro, 2012) Esta técnica permite obtener partículas de un tamaño de aproximadamente 50mm (Parra, 2010).

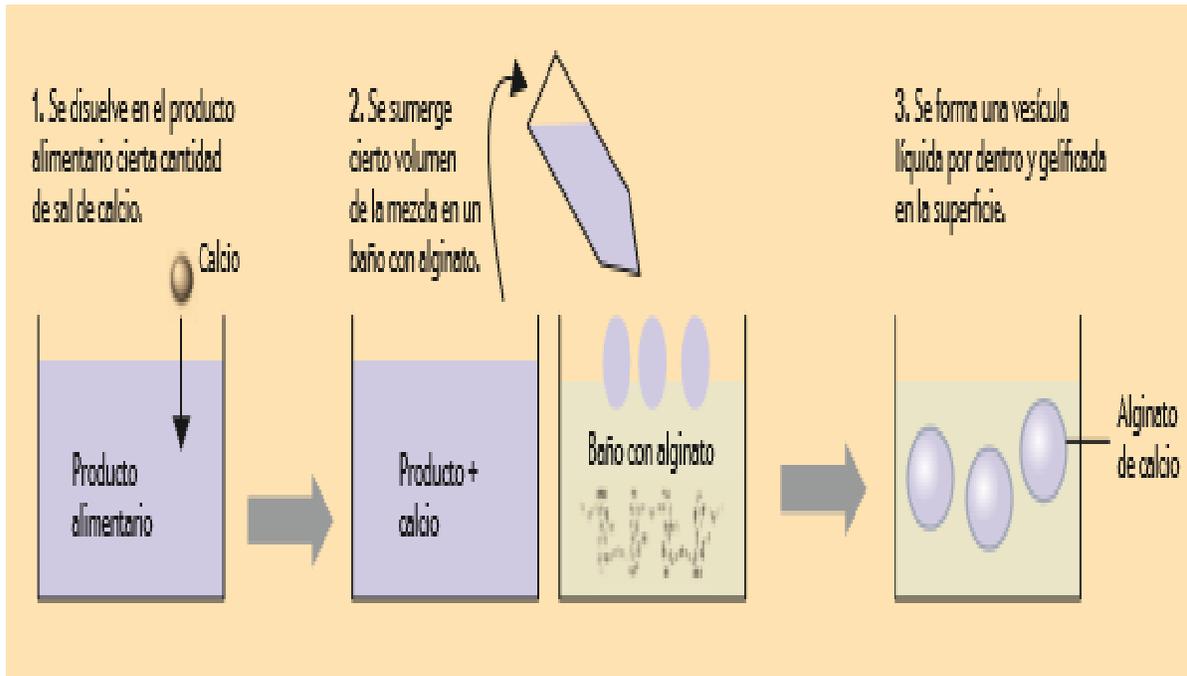


Figura 2.10: Mecanismo de gelificación iónica inversa (Mans et col).

La principal diferencia entre los mecanismos de gelificación directa e inversa es la cinética del proceso. Si lo que se pretende es el control de la transición solución gel, en el proceso de gelificación directa los factores a manipular son la concentración de calcio y la composición del polímero. Mientras que para el proceso de gelificación inversa se deben considerar la solubilidad y concentración del agente secuestrante y del ácido orgánico empleado (Lupo, González, & Maestro, 2012).

- Solución calcica

El lactato es la forma ionizada del ácido láctico, calcio es una sal de calcio con fórmula molecular $(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})_2\text{Ca}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$, de peso molecular 308.3 g/mol. Cristaliza como pentahidrato, que es ligeramente eflorescente y pierde agua de hidratación a 100-120°C, suele utilizarse como conservante natural en la industria alimentaria de hongos y levaduras, aunque también tiene aplicaciones en la fermentación de algunas frutas. También se utiliza como estabilizante de la estructura de frutas y verduras durante su procesamiento industrial y de algunas hortalizas, particularmente la patata.

Debido a que el lactato de calcio es una sal orgánica con buenas propiedades de solubilidad se utiliza mucho en bebidas claras y otras bebidas como jugos, leche de soya, néctares, leche fortificada, entre otras. En este campo, si se mezcla el lactato de calcio con otras sales de calcio puede funcionar como estabilizador de las bebidas.

2.7 Propiedades mecánicas

El comportamiento de un material será el reflejo de su respuesta a la deformación que tendrá dicho material al aplicarse una fuerza o carga, los estímulos con que es percibida la textura de los alimentos son predominantemente mecánicos, por lo cual los métodos con los que son evaluados estas propiedades son de tipo instrumental y las fundamentales, en donde las instrumentales evalúan la textura basándose en pruebas empíricas e imitativas mientras que las fundamentales evalúan la reología.

- Empíricas: miden la textura de los materiales bajo condiciones definidas. Desarrolladas bajo experimentación y observación, carecen de bases científicas, pero son útiles para determinar la calidad final del producto.

- Imitativas: simulan las operaciones humanas, como la masticación y presión de los dedos, sobre los materiales para juzgar su comportamiento mecánico.
- Fundamentales: miden propiedades innatas en los materiales. Son rigurosas las pruebas y los datos son expresados con sistema de unidades.

Las propiedades mecánicas pueden ser evaluadas por diversos métodos, dependiendo de la propiedad que se quiera evaluar.

Para poder mover o deformar un material es necesario aplicar una fuerza sobre la superficie del mismo. Existen diferentes tipos de fuerzas:

- Fuerza normal: fuerza que se ejerce perpendicularmente a la superficie.
- Fuerza de corte y esfuerzo: se aplica de forma paralela a la superficie.
- Fuerzas combinadas, en estas se desarrolla una fuerza de tensión y otra de compresión.

2.8 Reología

La reología es una ciencia relativamente nueva, con los recientes conceptos de elasticidad y viscosidad, de ahí que tenga un amplio espectro de aplicación (Feerman, 2015); sin embargo desde 1929 es conocido como la rama de las ciencias físicas que se encarga de estudiar el flujo y deformación de los materiales. Ésta ciencia abarca el área de flujo de fluidos, la cual es de suma importancia para la industria durante el procesamiento de alimentos (Santander & Solis, 2006).

El comportamiento reológico de un alimento en particular depende del tipo y de la concentración de los ingredientes que contienen, así como del proceso y las condiciones de almacenamiento a las cuales se somete. El estudio de las propiedades reológicas bajo pequeñas deformaciones en una emulsión, puede aportar información sobre la estructura de la emulsión, el estado de agregación de los glóbulos y la fuerza de interacción de los glóbulos. La medición de estas propiedades es utilizada para describir algunas propiedades texturales y también diseñar operaciones de procesos que dependen de la forma de los productos tales como el mezclado y bombeo (Martínez, 2016).

Dependiendo de la respuesta al esfuerzo aplicado, el material puede comportarse como fluido, teniendo una deformación continua disipando la energía en forma de calor y no la recupera, por lo que de acuerdo a la ley de Newton “El esfuerzo al que se somete será directamente proporcional a la velocidad de la deformación”, en donde se puede observar que las propiedades viscosas son las que predominan. Como sólido se deforma proporcionalmente al esfuerzo aplicado en donde puede recuperar su estado inicial cuando no haya esfuerzo, considerando la ley de Hooke, en la que predomina el carácter elástico, existe también el intermedio como semisólido viscoelástico.

El comportamiento reológico de un fluido se define a través de la velocidad de deformación ($d\gamma/dt$), producida por la aplicación del esfuerzo con la finalidad de establecerlas funciones que definen el comportamiento reológico de un material

(Hernando, 2014) muchos fluidos principalmente los alimenticios no son newtonianos, si no que predominan los fluidos no newtonianos.

Una clasificación completa y sencilla, teniendo en cuenta lo anteriormente comentado, se puede observar en la Figura 2.11, la cual muestra una red muy útil para aproximar el comportamiento de un fluido desconocido a comportamientos estándar.

2.8.1 Clasificación de los fluidos

Los fluidos se clasifican en Newtonianos y No newtonianos, los no newtonianos pueden ser dependientes e independientes del tiempo de cizallamiento (Rendón, 2016).

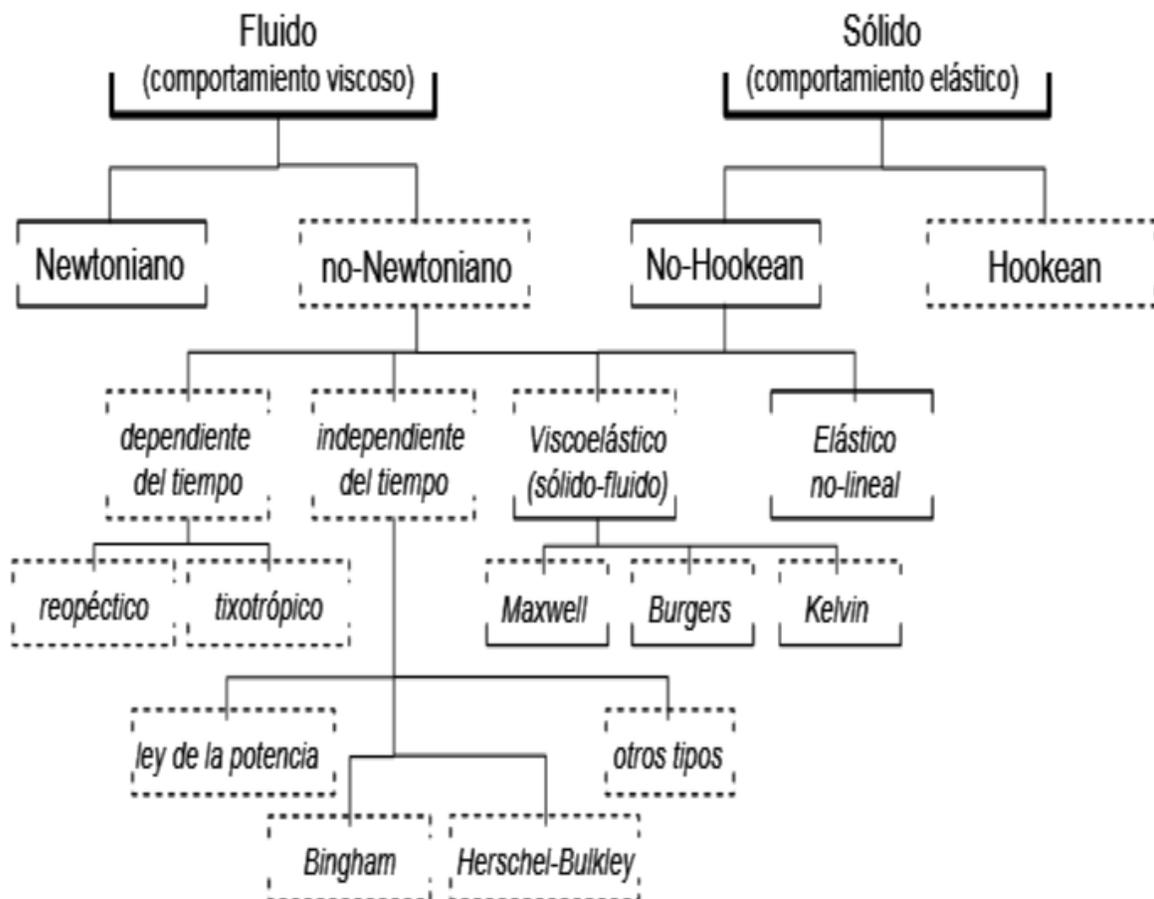


Figura 2.11: Clasificación de los fluidos (Steffee, 1996).

Los fluidos pueden ser estudiados al someterse a un cizallamiento continuo, es decir colocando un flujo entre unas placas paralelas, en donde actúa sobre ellas un esfuerzo para mantenerlas en un movimiento resultando un esfuerzo de cizalla.

El flujo viscométrico es aquel en que la velocidad de cizalla no depende del tiempo e incluye el flujo rotacional entre cilindros concéntricos, cono y placa. El estado de esfuerzo queda determinado por tres funciones del material: función de viscosidad (η), el primer $\Psi(\dot{\gamma})$ y segundo $\Psi(\dot{\gamma})$ coeficientes de esfuerzos normales, esto involucra el esfuerzo de cizalla y velocidad de cizalla cuya relación se establece a partir de datos experimentales, dando como resultado una gráfica de esfuerzo de cizalla vs velocidad de cizalla, la curva se modela matemáticamente y así se observa el comportamiento del material (Hernando, 2014).

- Fluido Newtoniano

Los fluidos Newtonianos por definición tienen una relación lineal entre el esfuerzo de cizalla y la velocidad de cizalla partiendo del origen, cuya pendiente es la viscosidad. Se cuenta con un modelo matemático que describe el comportamiento newtoniano (Rendón, 2016).

- Fluido no Newtoniano

Se definen como aquellos que la viscosidad varía con cambios en la velocidad de cizallamiento, es decir, el esfuerzo de cizalla y la velocidad de cizalla, no están relacionados linealmente (Santander & Solís, 2006). Estos materiales, en lugar de tener un coeficiente de viscosidad η , poseen un coeficiente de viscosidad aparente η_{app} que se define como la relación entre un esfuerzo de cizalla puntual y la velocidad de cizalla correspondiente, cuando la relación entre ambos no es lineal. Su valor depende de la velocidad de cizalla (Adán, 2008).

2.8.2 Fluidos independientes del tiempo

Entre los modelos empleados más importantes en fluidos, cuya diferencia entre ellos depende de los valores que presentan las constantes que los definen: índice de consistencia (k), índice de comportamiento al flujo (n) y esfuerzo de cedencia (σ_0). Estos modelos de fluidos no newtonianos se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Modelos matemáticos para fluidos independientes.

Fluido	Modelo		Ecuación matemática	Parámetros reológicos		
				k (Pa.s ⁿ)	N	σ_0 (Pa)
Independientes del tiempo	Herschel–Bulkley		$\sigma = \sigma_0 + k\dot{\gamma}^n$	> 0	$0 < n < 1$	> 0
	Ley de la potencia	Fluidificante	$\sigma = k\dot{\gamma}^n$	> 0	$0 < n < 1$	0
		Espesante		> 0	$1 < n < \infty$	0
	Plástico de Bingham		$\sigma = \sigma_0 + \eta_p \dot{\gamma}$	> 0	1	> 0

(Hernando, 2008).

- Adelgazantes a la cizalla o fluidificantes: Se caracteriza por una disminución de su viscosidad y de un aumento de esfuerzo de cizalla al incrementar la velocidad de cizalla Figura 2.12. La viscosidad depende de la velocidad de cizalla aplicada, pero no del tiempo la curva de esfuerzo de cizalla en función de la velocidad de cizalla no presenta un comportamiento lineal (Rendón, 2016). El calificativo de pseudoplásticidad o fluidificante deriva de muestras en las que las tensiones bajas corresponden velocidades de deformación pequeñas (Quintáns, 2008). Con estos fluidos la curva del flujo parte del origen de la gráfica, pero es cóncava hacia arriba (Adán, 2008).

- Dilatancia o reoespesante: Es un fenómeno de espesamiento independiente del tiempo de cizallamiento, que se da a altas velocidades de deformación. La gráfica no es lineal como se aprecia en la Figura 2.12, pero los valores de τ y $\dot{\gamma}$ están unívocamente relacionados (espesamiento de estado estacionario). La η_{app} aumenta al aumentar $\dot{\gamma}$ (Quintáns, 2008).

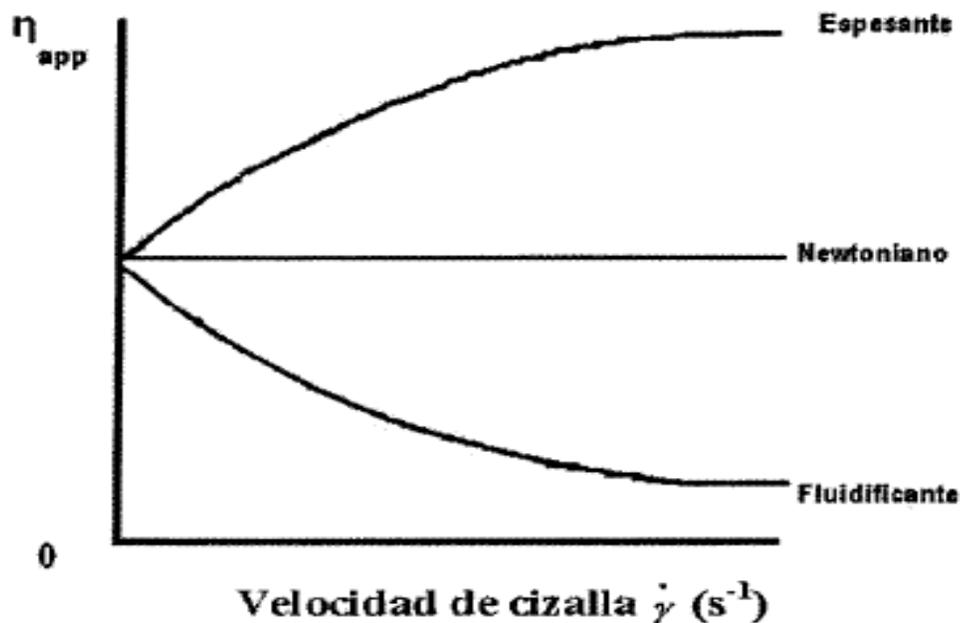


Figura 2.12.: Viscosidad aparente en función de la velocidad de cizalla (Steffee, 1996).

- Plásticos: Se refiere a los materiales que muestran un esfuerzo de fluencia o de cedencia σ_0 , antes de iniciar a fluir como es el caso del modelo de Bingham Figura 2.13, sin embargo no se refiere a plásticos sintéticos. Su principal característica de estos fluidos es que con bajos esfuerzos de cizalla, se comportan como sólidos y no sufren una deformación evidente hasta que alcanzan una fuerza de cizalla crítica σ a partir de la cual los fluidos tienden a desplazarse en forma de líquido, es decir, en este comportamiento el material se comporta como un sólido elástico hasta cierta deformación y luego fluye como un líquido (Adán, 2008).

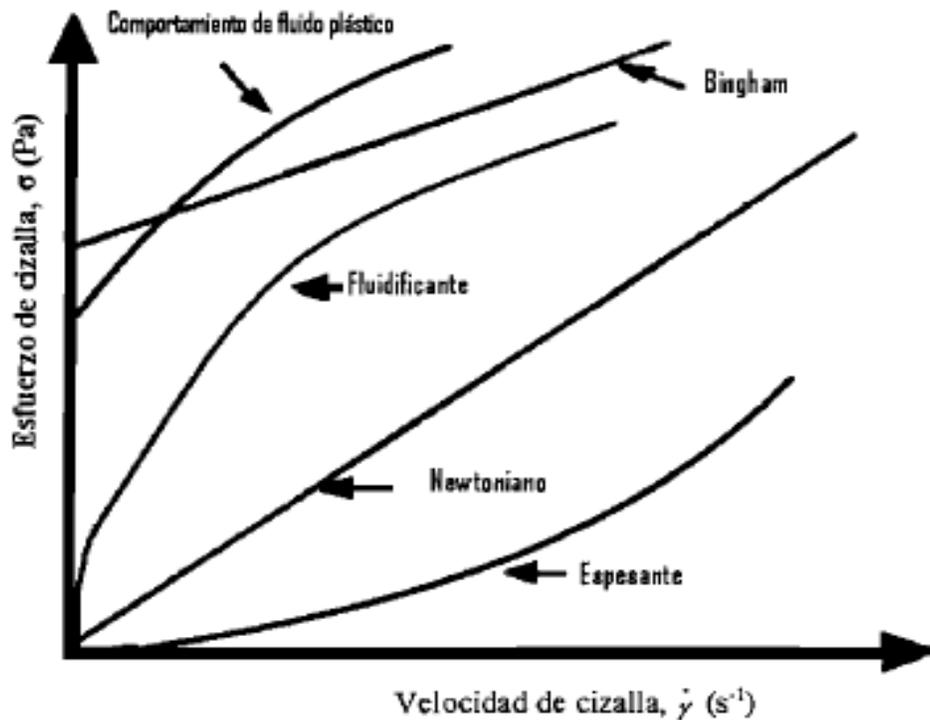


Figura 2.13: Curvas de flujo de los diferentes tipos de fluidos (Steffee, 1996).

2.8.3 Flujo dependiente del tiempo

- Tixotropía: Son fluidos adelgazantes con respecto al tiempo de deformación (cizalla), es decir, la viscosidad aparente napp disminuye al aumentar la velocidad de cizalla y el tiempo de cizalla, hasta un punto en el cual la napp permanece constante (Adán, 2008). Cuando la velocidad de deformación desciende, el producto espesa lentamente, hasta reasumir su comportamiento original.

Una consecuencia importante de esta dependencia del tiempo es la necesidad de que las medidas rutinarias se efectúen a intervalos de tiempo cuidadosamente elegidos y estrictamente respetados (Quitáns, 2008).

- Antitixotropía: Es un espesamiento dependiente del tiempo de cizallamiento, en la representación grafica se muestra que los parametros (esfuerzo de cizalla vs velocidad de cizalla) no estan unívocamente relacionados. Existen dos valores de velocidades de cizalla, para cada valor de esfuerzo de cizalla en tiempo de cizallamiento diferente, si se hacen pruebas rutinariamente cíclicas. La reopexia es el fenómeno inverso de la tixotropía, por lo que es igualmente necesario un riguroso control del tiempo en las determinaciones (Quitáns, 2008).

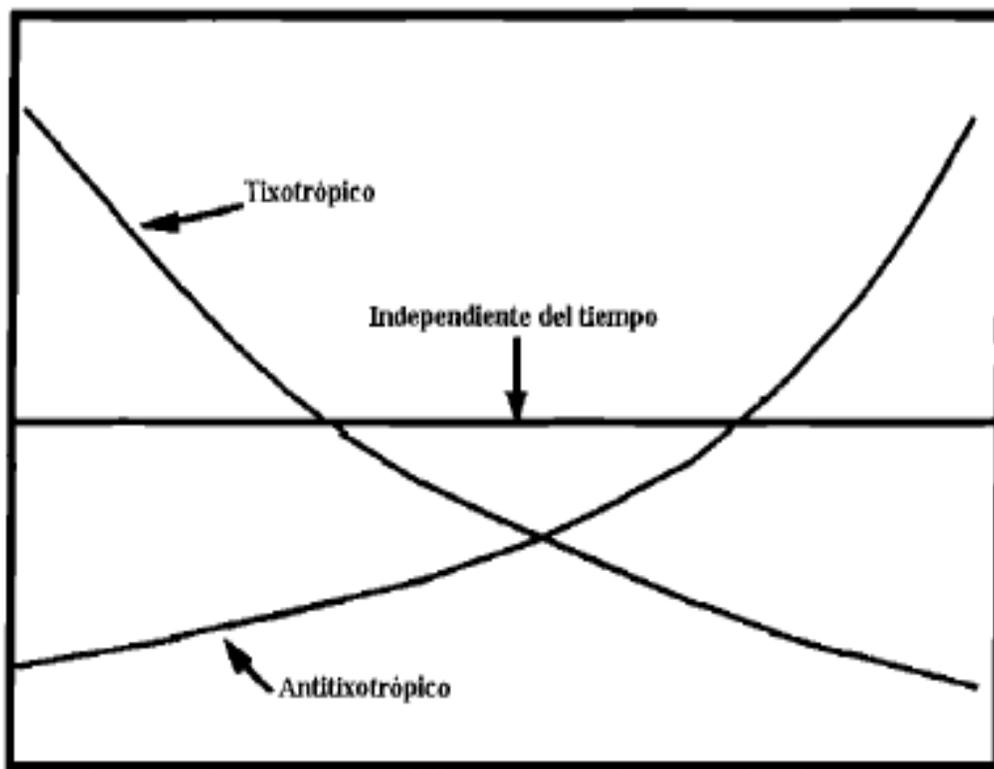


Figura 2.14: Fenómeno de antitixotropía y tixotropía. Tiempo a velocidad constante de cizallamiento t (s) vs esfuerzo de cizalla (Pa) (Steffe, 1996).

En la Figura 2.14 se representa los fenómenos de la antitixotropía y la trixopía en relación con aquellos fluidos que son dependientes del tiempo.

2.8.4 Métodos de medición para reología de fluidos

Se encuentran agrupados en dos categorías:

- Aquellos en donde se aplica un esfuerzo de cizalla a la muestra y la respuesta es la velocidad de cizalla a la que se deforma.
- Aquellos donde se aplica una velocidad de cizalla y la respuesta a medir es el esfuerzo de cizalla;

Ambas pruebas se realizan en función del tiempo y/o temperatura.

Para medir el comportamiento reológico de los materiales fluidos y semifluidos se utilizan instrumentos que realizan esta medición, los cuales reciben el nombre de viscosímetros y reómetros, el primero mide viscosidades y el segundo mide además los módulos de deformación. Estos instrumentos han sido clasificados en dos categorías principales: rotacional y tubo.

Los sistemas rotacionales son útiles para determinar si existe un comportamiento de dependencia con el tiempo, en donde pueden efectuar dos tipos de pruebas las de cizalla y oscilatorias.

- Cizalla estacionaria. Son pruebas de cizallamiento rotacional continuo bajo moderados rangos de velocidades, el esfuerzo es aplicado de manera normal, generando una transferencia de movimiento entre capa y capa del sistema logrando que fluya en su totalidad. Este tipo ayuda a determinar las propiedades de flujo que presentan los fluidos (índice de consistencia k , índice de comportamiento al flujo n y viscosidad η) se realiza bajo condiciones laminares del flujo en estado estacionario. El dispositivo más utilizado para esta prueba es el de cilindros concéntricos.
- Pruebas oscilatorias. Pruebas del tipo dinámico que permiten conocer el comportamiento viscoelástico, obteniendo los módulos de deformación G' característico de materiales sólidos y G'' que caracterizan a materiales fluidos (Vélez, 2012).

Las propiedades reológicas, frecuentemente medidas y comercialmente empleadas para la caracterización del chocolate, pueden ser expresadas en dos valores:

- Umbral de fluencia: Es la fuerza requerida para que el chocolate empiece a fluir.
- Viscosidad: La fuerza necesaria para mantener constante el flujo del chocolate.

Las unidades de la viscosidad son Pascales por segundo (Pa.s) y la unidad del umbral de fluencia son Pascales (Pa). En la Tabla 2.3 se muestran los valores en tabletas sólidas y en coberturas de chocolate.

Tabla 2.3: Rangos de viscosidad y fluencia en diferentes chocolates.

	Viscosidad (Pa.s)	Umbral de fluencia (Pa)
Tabletas sólidas	1-20	10-200
Coberturas	0.5-2.5	0-20

La viscosidad y el umbral de fluencia en el chocolate son dependientes de la temperatura, contenido de grasa, la cantidad de emulgente, humedad, distribución del tamaño de partícula y tiempo de conchado.

- Contenido de grasa: A mayor contenido de grasa disminuye la fricción entre partículas y con esto también la viscosidad y el umbral de fluencia.
- Aditivos: Estas sustancias tienen efectos similares a la adición de 1-3% de manteca de cacao; Sin embargo, cantidades altas al límite, tienen efectos negativos.
- Humedad: La adición de una pequeña cantidad es suficiente para que la viscosidad y el umbral de fluencia se incrementen considerablemente.
- Tamaño de partícula: Las de mayor tamaño poseen un valor muy bajo de umbral de fluencia y aunque en menor grado de viscosidad.
- Temperatura: Un aumento puede ocasionar un incremento en el umbral de fluencia, pero un descenso en la viscosidad.

- Tiempo de conchado: Tiene efectos considerables sobre la disminución del umbral de fluencia, Principalmente sobre las primeras horas del conchado.
- Grasas: Mantener la cantidad de grasa tan baja por razones de costos.

Para la gama de chocolates macizos es necesario tener una viscosidad alta, debido a que será depositado en moldes, pero una viscosidad mínima de fluencia baja para que permita la liberación de las burbujas de aire atrapadas durante el dosificado.

Las velocidades de cizalla en las tabletas son de 0.54 1/s. otro factor importante factor son los organolépticos en donde está incluida la viscosidad, esta marca el comportamiento del chocolate al derretirse en la boca. Cuando se consume el chocolate, la temperatura de la boca (37°C) es lo suficiente para fundirlo (33°C) especialmente si se tienen en cuenta la fuerza y el mezclado constante producido por la lengua y los dientes. La boca posee tres receptores de sabor ubicados en lugares diferentes, por ello, el tiempo en que tarda el chocolate en alcanzar dichos receptores será un factor muy importante en la percepción del sabor.

Un chocolate mientras más contenido de grasa tenga, más fácilmente se derretirá, por ende, producirá un efecto más placentero, es importante mencionar que la manteca de cacao adicionada al chocolate para mejorar las propiedades de fluencia es un producto con un alto valor en el mercado, por lo que actualmente se busca la manera de controlar estas propiedades sin aumentar el costo de producción.

Por lo tanto, la reología es importante para los alimentos ya que tiene muchas aplicaciones en las tres categorías de aceptabilidad de los alimentos (apariencia, sabor y cuerpo) (Bourne, 2002).

2.9 Textura

La palabra textura deriva del latín “textura”, que significa tejido y originalmente se tomó de referencia a la estructura (Rosenthal, 2001) la interrelación de las partes y la calidad estructural. Esta definición se divide entre dos grupos. 1.- Comprende a productos básicos orientados a un atributo de calidad particular de un tipo dado de alimento. 2.- Refleja una cobertura universal de todos los alimentos (Bourne, 2002); Sin embargo, varios intentos para definir textura han culminado en cierto acuerdo internacional con el desarrollo de la norma internacional ISO 5492, la cual se relaciona con el vocabulario utilizado con la evaluación sensorial. Definiendo de esta manera textura como “todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles (Rosenthal, 2001), aunque su uso actual significa tanto una propiedad física como una propiedad percibida por ello se propone descartar la palabra “textura”, por lo que Muller propone dos términos para tomar el lugar de la palabra textura siendo: Reología y haptestésis comparando con un estudio de la luz (óptica y visión) (Bourne, 2002).

En los primeros años de medición de la textura, el estudio de la misma se enfocó en los esfuerzos de los reólogos, que midieron el flujo y la deformación de los materiales alimenticios. Dentro de la reología y textura puede incluirse la psicofísica que es de la relación entre los estímulos mensurables y las repuestas correspondientes. Psicorreología divide en dos definiciones; la científica, es aquella que se ocupa de la percepción sensorial de las propiedades reológicas de los alimentos. La otra definición nos dice que es la relación entre las preferencias del consumidor y las propiedades reológicas (Bourne, 2002).

Dentro de las propiedades reológicas la viscosidad es aquella que tiene una característica importante en la mayoría de los alimentos fluidos y semilíquidos. Igualmente de importantes son los aspectos de la apariencia del alimento, las propiedades mecánicas y los ruidos que se producen cuando el alimento es manipulado, cortado y comido (Rosenthal, 2001) uno de estos aspectos a considerar para comprender mejor el término de textura es la masticación siendo

un proceso en el cual pedazos de comida se muelen en un estado muy fino, en este proceso se detecta tamaño, la forma de las partículas, su rugosidad superficial y se convierten en atributos importantes de las sensaciones texturales generales.

La capacidad de los alimentos para humedecerse con saliva y para absorber la saliva son importantes sensaciones en este campo (Bourne, 2002), en donde se puede ir expresándose por los sonidos que se genera al morder o manipular el alimento para estimar su calidad, en donde a menudo determinan la textura de los alimentos con métodos de medida empíricos como son la punción, pequeños golpes o estrujamiento (Rosenthal, 2001).

2.9.1 Medida instrumental y sensorial

La instrumentación depende del tipo de ensayo a llevar a cabo, pero para un ensayo mecánico, a medida involucra indicadores de tensión y celdas de carga para medir la fuerza y la posición. Los ensayos llevados a cabo en materiales sólidos y viscoelásticos se dan a menudo bajo compresión, cizalla, torsión o tensión.

Factores como la temperatura influyen frecuentemente en el comportamiento reológico y por consiguiente la mayoría de aparatos para la medida de tales parámetros deberá ser termostatzado de modo preciso. La metodología supone la introducción de la muestra en el aparato y dejando que alcance la temperatura estacionaria antes de que se aplique el ensayo físico. Esto propuesto es bastante distinto a lo que sucede en la boca durante la comida, mientras que la temperatura en el centro del cuerpo es prácticamente constante a 37°C, la boca está por debajo de esta por unos grados y el alimento que se introduce casi no está a la misma temperatura.

Sharma y Sherman mostraron que la velocidad de deformación aplicada en la boca en realidad depende de la viscosidad del alimento, de tal forma que los alimentos de baja viscosidad reciben velocidades de deformación relativamente

altas, mientras que los alimentos de alta viscosidad tienden a ser cizallados más lentamente (Rosenthal, 2001).

2.9.2 Tipos pruebas instrumentales para la medida de textura

Se clasifico en tres grupos las técnicas instrumentales para medir la textura de los alimentos:

- 1.- Ensayos empíricos, miden alguna propiedad física bajo condiciones bien definidas.
- 2.- Ensayos imitativos, intentan simular las condiciones a las que el material está sometido a la boca. En la Figura 2.15 se pueden observar los principales parámetros obtenidos de una prueba imitativa.
- 3.- Ensayos fundamentales, miden propiedades físicas bien definidas tales como la viscosidad o el módulo elástico.

La prueba a utilizar dentro del proyecto será un ensayo imitativo debido a que las condiciones sometidas en la boca para determinar su calidad. Esta prueba pretende proporcionar valores estándar de la textura de los alimentos mediante un análisis de perfiles de textura (TPA- texture profile analysis), creado por la General foods a mediados de los años 60. Para cada estándar se definieron detalles de preparación o nombres de la marca, detalles de la temperatura de ensayo. Por lo tanto, se establecieron los patrones que permitieron que cualquiera pueda considerar cada uno de los atributos de textura a los diferentes niveles definidos.

Además de estos patrones sensoriales, fue descrito un instrumento de fuerza de compresión-deformación, basado en un instrumento que deforma el alimento a través de un movimiento giratorio, utilizando un ciclo de dos mordidas, y el esfuerzo que desarrolló en la muestra que midió a medida que la muestra era comprimida. Después de la primera mordida, se sacó la carga de la muestra y se permitió que se relajase algo. A medida que el émbolo se soltaba de la superficie de la muestra, se observó cierta tensión debido a la pegajosidad de la muestra. La

segunda mordida comprimió la muestra otra vez antes de que se permitiese una relajación por segunda vez. La resistencia durante la deformación del alimento fue registrada durante esos dos ciclos de mordida.

Se atribuyó una función matemática a cada término en base de los datos obtenidos en el texturómetro a partir de la curva esfuerzo vs deformación. En la Figura 9.1 se muestran los parámetros medidos por un análisis de perfil de textura (Rosenthal, 2001).

2.9.3 Análisis Sensorial

El Instituto de Alimentos en EEUU (IFT), lo define como la disciplina científica utilizada para evocar, medir y analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (Hernandez, 2005).

Las cuatro tareas principales del análisis sensorial son: identificar, medir científicamente, analizar e interpretar (González, Rodeiro, Sanmartín, & Vila, 2014). Las técnicas del análisis sensorial se clasifican en dos grandes grupos dependiendo del objetivo que se persiga:

- Pruebas analíticas, que buscan medir o describir en detalle características organolépticas de un producto.
- Pruebas de consumidores, que se emplean para evaluar las preferencias de los consumidores o medir la satisfacción que les proporcione el producto (González, Rodeiro, Sanmartín, & Vila, 2014).

2.9.4 Pruebas de consumidores

Las pruebas de consumidores miden la preferencia de estos hacia un producto buscando la aceptación del mismo en el mercado. La aceptación se va a definir como el “consumo por placer”.

- Pruebas de preferencia, el consumidor o juez de la prueba realiza una elección entre productos; las más utilizadas son las de comparación apareada entre dos productos codificados que se presentan a los jueces quienes tienen que elegir la que prefieren.
- Pruebas hedónicas, se le solicita al consumidor que valore el grado de satisfacción general que le produce un producto utilizando una escala que le proporciona el analista.

La escala hedónica de nueve puntos consiste en una lista ordenada de posibles respuestas correspondientes a distintos grados de satisfacción equilibradas a un punto neutro (González, Rodeiro, Sanmartín, & Vila, 2014).

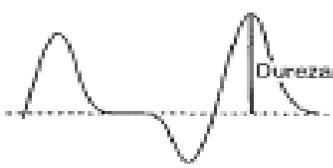
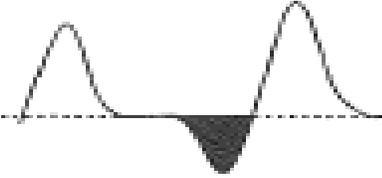
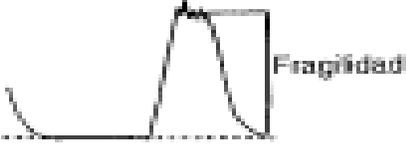
Parámetro	Definición sensorial	Definición instrumental
Dureza	Fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares	
Elasticidad	La extensión a la que un alimento comprimido retoma a su tamaño original cuando se retira la fuerza	 Ciclo = Segundo contacto – Primer contacto Elasticidad = Ciclo para un material elástico Inelástico = Ciclo para el alimento
Adhesividad	El trabajo requerido para retirar el alimento de la superficie	
Cohesividad	La fuerza que los enlaces internos hacen sobre el alimento	 COHESIVIDAD = B/A
Fragilidad	La fuerza a la que el material se fractura. Los alimentos frágiles nunca son adhesivos.	
Masticabilidad	La energía requerida para masticar un alimento sólido hasta que está listo para ser tragado.	= Dureza x Cohesividad x Elasticidad
Gomosidad	La energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado	= Dureza x Cohesividad

Figura 2.15: Parámetros obtenidos en una prueba de TPA, (Rosenthal, 2001).

2.10 Calorimetría

La calorimetría es una técnica que permite medir la cantidad de calor que libera o se absorbe (Costas, 2015), es decir, el intercambio de calor, en diferentes procesos, mediante un instrumento denominado calorímetro, que mide el cambio de energía en un sistema al operar un proceso; que puede ser físico, químico o biológico.

Los calorímetros se diseñan para determinar propiedades termodinámicas específicas; existen calorímetros de flujo, isoperbórico, adiabático y algunos indirectos como el método láser flash o el fotoacústico (Gonzalez et col., SF).

Existen técnicas calorimétricas en las cuáles se pueden mencionar: la de combustión, de alta temperatura, de solución, láser flash, isotérmica, diferencial de barrido, inmersión, fotoacústica, entre otros.

Una técnica muy utilizada es la calorimetría diferencial de barrido, el propósito de ésta es el registrar la diferencia entre el cambio de entalpía que ocurre en una muestra y un material inerte de referencia cuando ambos se calientan a una rapidez constante de energía eléctrica. Los instrumentos térmicos diferenciales se clasifican en: DTA clásico, "Boersma" DTA y DSC. Los dos primeros la muestra y la referencia se calienta utilizando una sola fuente de calor y la temperatura se mide por termocuplas que se localizan dentro del recipiente (DTA clásico) o acopladas a la superficie exterior del recipiente (Boersma), ambos miden la diferencia de temperatura entre la muestra y la referencia; los datos se presentan en un gráfico de diferencia de temperatura en función de calentamiento.

En el DSC, la muestra y la referencia se calientan independientemente, por lo que se puede medir directamente la diferencia en flujo de calor para mantener una temperatura igual en ambas. Los datos se obtienen en forma de entradas diferenciales de calor (dH/dt) en función de la temperatura, obteniendo temperaturas y entalpías de transición o de reacción. Algunas recomendaciones para la operación del DSC son las siguientes:

- Utilizan portamuestras de aluminio que permiten el análisis de 10-20 ml de muestra. Para obtener un pico definido y con alta resolución se recomienda que la superficie de contacto entre el recipiente y la muestra sea la máxima, lo cual se logra si la muestra es preparada en láminas, discos delgados o polvo; en materiales biológicos, la muestra frecuentemente se dispersa en agua.
- La calibración del equipo se lleva a cabo con un metal de alta pureza, con su entalpía y su punto de fusión conocidos generalmente se usa Indio.
- La determinación de la entalpía del proceso bajo requiere la medición del área endotérmica y exotérmica, lo cual puede ser difícil debido a que la línea base no es horizontal y el pico generalmente no es simétrico (Sandoval, Rodríguez, & Fernandez, 2005).

La representación de esta técnica es mediante una gráfica de temperatura vs diferencia de producción de calor a una temperatura dada también conocida como Termograma, por lo que se obtienen la capacidad calorífica (C_p), temperatura vítrea (T_g), cristalización (T_c) y fusión (T_m) tal como lo podemos observar en la siguiente Figura 2.16.

La capacidad calorífica (C_p) es el incremento de la temperatura en cierta cantidad y aplicando cierto calor para producir este determinado incremento, obteniendo la capacidad calorífica dividiendo el calor suministrado por el incremento resultante de su temperatura (Mississippi, 2018), la temperatura vítrea es el aumento en la capacidad calorífica por lo que hay un aumento en su movilidad molecular pasando a la cristalización que es aquella en donde gana suficiente energía para adoptar una disposición sumamente ordenada en la cual libera calor y al perder este calor se considera la temperatura de cristalización. Si se continua aumentando el suministro de calor sobre la temperatura de cristalización se llegará a la temperatura de fusión donde los cristales formados comenzarán a separarse

ya que las cadenas inician a perder el orden y se mueven libremente (Mississippi, 2018).

Con el uso de esta técnica nos ayuda a la verificación de la formación de los cristales que serán aquellos que determinen la estabilidad del producto así como la calidad del chocolate.

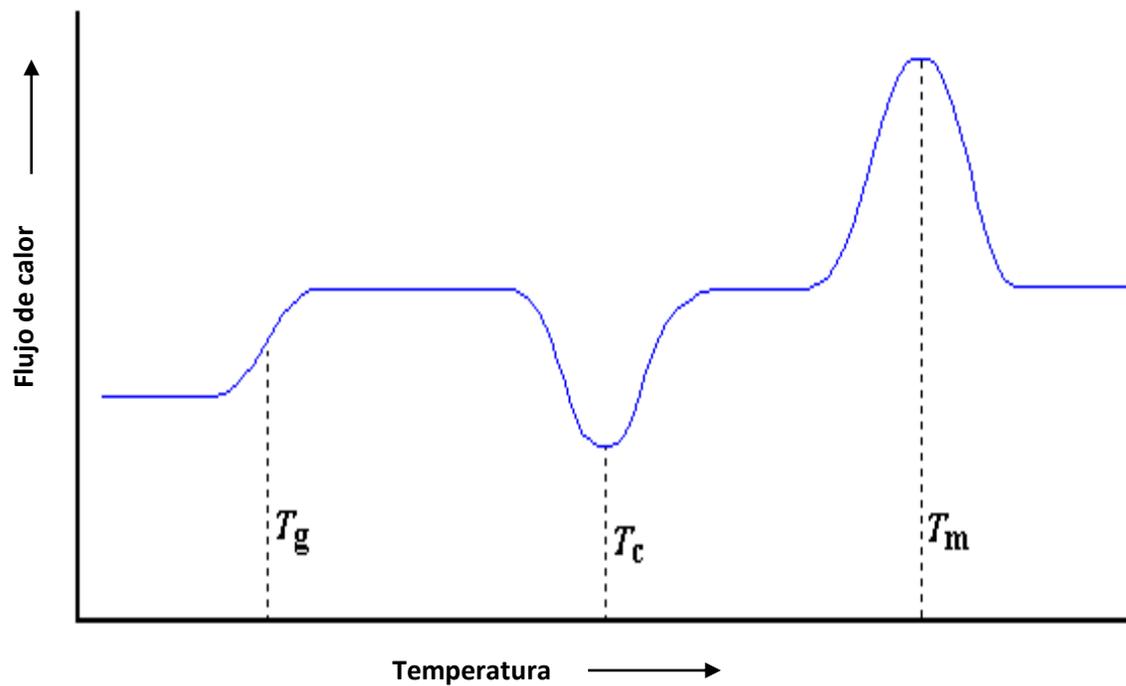


Figura 2.16: Representación gráfica de las etapas del DSC (Sandoval, Rodríguez, & Fernandez, 2005).

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1 Objetivo general:

Evaluar el efecto de la composición y condiciones de proceso en el desarrollo de un chocolate relleno con microesferas de saborizantes, mediante pruebas de estabilidad, textura, reológicas, análisis térmico y medición de tamaño de partícula, determinando la funcionalidad del proceso y sus atributos físicos.

3.2 Objetivos particulares:

1.- Evaluar el efecto de la proporción de las grasas (manteca de cacao, grasa vegetal y grasa butírica) y el emulsificante (lecitina de soya), en la emulsión base, mediante su caracterización reológica, análisis de perfil de textura, tamaño de partícula, centrifugación, estableciendo la formulación que de menor inestabilidad con un diseño factorial 4^3 , para el desarrollo del chocolate.

2.- Evaluar el efecto de la concentración de vainilla, azúcar y cocoa en la adición a la emulsión base más estable, mediante un análisis térmico, caracterización reológica, pruebas de penetración, estableciendo la formulación del chocolate con leche.

3.-Elaborar microesferas de alginato de sodio 1% - algarrobo 0.25% con tres diferentes saborizantes (frambuesa, rompopo de nuez y menta), por el método de gelificación iónica realizando un análisis de perfil de textura, térmico y diferencia de pesos, para la caracterización del gel y aplicarlas como relleno de un chocolate con leche.

4.-Evaluar la estabilidad de la barra de chocolate con leche relleno de microesferas, mediante pruebas de textura, análisis térmico y prueba sensorial para la determinación de aceptación con el consumidor.

3.3 Desarrollo experimental

Materiales

Tabla 3.1: Materiales empleados en la fase experimental

MATERIALES	MARCA
MANTECA DE CACAO	LA ESPERANZA
GRASA BUTIRICA	ALPURA
ACEITE DE PALMA	S/M
LECITINA DE SOYA	
BICARBONATO DE SODIO	FARMACIA PARIS
PASTA DE CACAO	LA ESPERANZA
LECHE EN POLVO	SVELTY
AZUCAR ESTANDAR	AURRERA
ESENCIA DE VAINILLA	PASA
ESENCIA DE MENTA	DEIMAN
ESENCIA DE FRAMBUESA	DEIMAN
GRENETINA CON SABOR	D´GARI
ROMPOPE DE NUEZ	SANTA CLARA
FRAMBUESA	S/M
RON	CAPITAN MORGAN

- EMULSIÓN BASE:

Mediante un diseño experimental se elaboraron muestras variando la concentración de la manteca de cacao (MC), aceite de palma (AP), grasa butírica (GB) y lecitina de soya líquida (L). La composición de las muestras se detalla en la Tabla 3.2 la variación de los porcentajes Tabla 3.3 se determinó con base en productos comerciales y normativa del chocolate.

Para observar el efecto de la proporción de las grasas en la formación de una emulsión. Utilizando el software Minitab 17 se obtuvo el diseño factorial 4³. Se tienen 2 niveles de concentrado en manteca de cacao (20 y 30%), 3 en aceite de palma (3 y 5%), grasa butírica (5 y 15%) y lecitina (0.5 y 1.5%).

Tabla 3.2: Variación de las proporciones de grasa

VARIABLES	Nivel mínimo	Nivel máximo
Manteca de cacao (MC)	20	30
Aceite de palma (AP)	1	5
Grasa butírica (GB)	5	15
Lecitina (L)	0.5	1.5

Tabla 3.3: Corridas experimentales.

OrdenEst	MC	GB	AP	L
1	20	5	3	0.5
2	20	5	3	1.5
3	20	5	5	0.5
4	20	5	5	1.5
5	20	15	3	0.5
6	20	15	3	1.5
7	20	15	5	0.5
8	20	15	5	1.5
9	30	5	3	0.5
10	30	5	3	1.5
11	30	5	5	0.5
12	30	5	5	1.5
13	30	15	3	0.5
14	30	15	3	1.5
15	30	15	5	0.5
16	30	15	5	1.5

Posteriormente a las muestras que se observaron con mayor estabilidad se le adicionará pasta de cacao, azúcar estándar, saborizante artificial a vainilla, leche en polvo.

- ELABORACIÓN DE MICROESFERAS

Para el relleno se elaboró microesferas mediante la técnica de gelificación iónica directa. Se puede observar estas formulaciones en la siguiente Tabla 3.4:

Tabla 3.4: Formulaciones de microesferas en sus tres saborizantes.

Ingredientes	Rompoppe	Frambuesa	Menta
	%	%	%
Agua	50	45.25	66.25
Rompoppe	25	-	-
Ron	10	-	-
Azúcar	8	22	17.5
Esencia	3	12.5	15
Grenetina con sabor	3	-	-
Alginato	0.75	1	1
Algarrobo	0.25	0.25	0.25
Pulpa	-	15	-
Sabor	-	4	-

- ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE

Para la elaboración del chocolate, se realizó bajo el proceso antes mencionado en donde se realizaron tres posibles formulaciones, en la Tabla 3.5: indica los porcentajes de ingrediente empleados para llevarse a cabo el chocolate.

Tabla 3.5: Formulación de las emulsiones propuestas.

Ingredientes	Propuesta de formulaciones en emulsiones		
	%	%	%
Manteca de cacao	30	30	30
Aceite de palma	3	5	5
Butírica	5	5	15
Lecitina	1.5	1.5	1.5
Bicarbonato	0.25	0.25	0.25
Cacao	25	10	10
Leche en polvo	10	10	10
Azúcar	20	23.25	21.75
Vainilla	2	2	2
Pasta de cacao	3.3	5	5

3.4 Métodos:

3.4.1 Preparación de la emulsión base

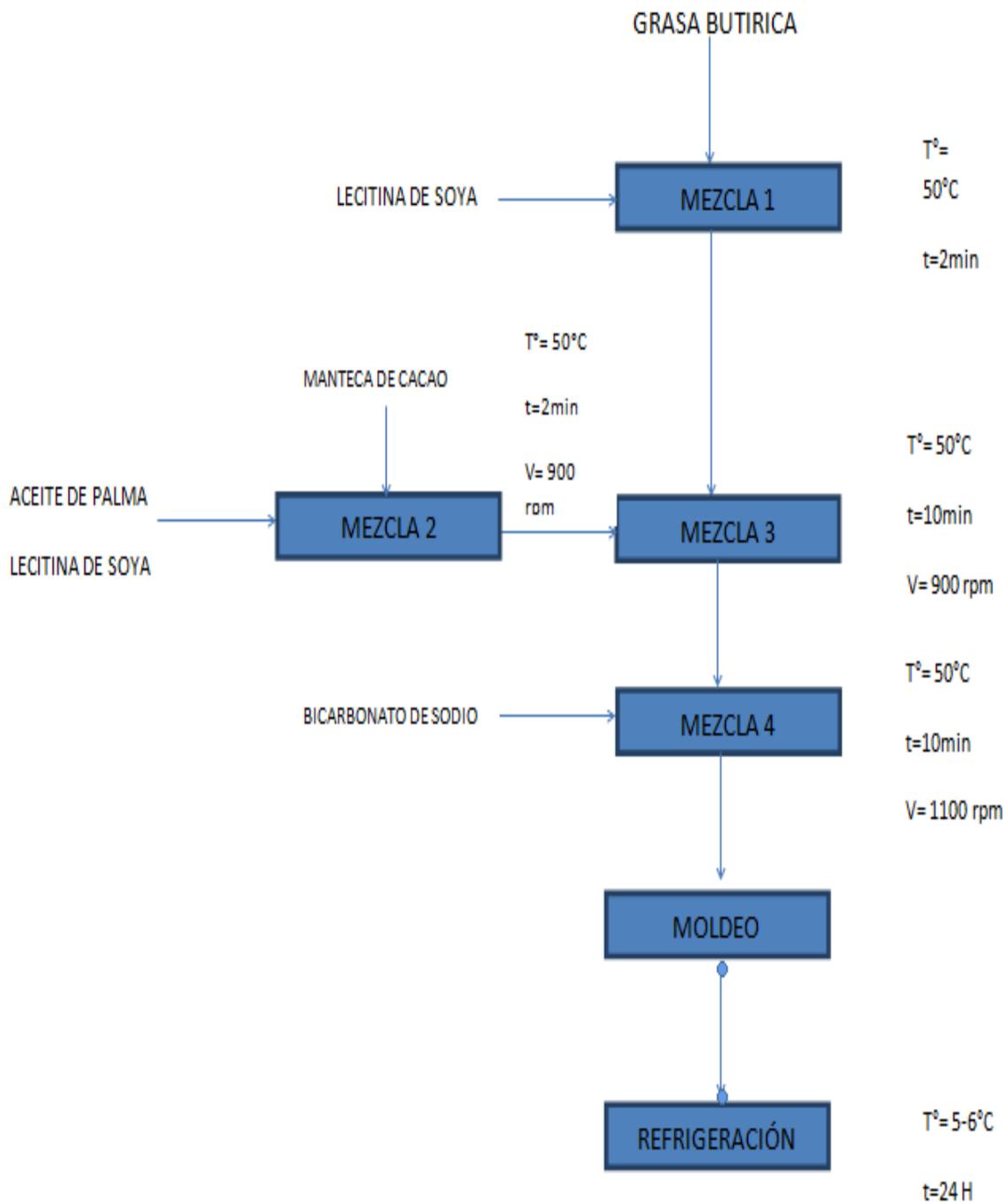


Figura 3.1: Diagrama de proceso de la emulsión base.

En la mezcla uno se virtió la grasa butírica en un homogenizador marca IKA ULTRA-TURREX T 25 con lecitina de soya a una temperatura de 50°C, por 2 minutos, posteriormente en el mezclado dos se colocan a baño maria la manteca de cacao y el aceite de palma hasta llegar a su estado líquido para la mezcla tres se adicionó las dos grasas y el resto de la lecitina de soya junto con la mezcla uno bajo una agitacion constante se va incorporando en forma de hilo aumentando la agitación hasta 9000 rpm, en un tiempo de 10 minutos. A la mezcla cuatro se le adiciono por último bicarbonato de sodio, dejando la mezcla por 2 minutos y se colocó en un recipiente para su moldeo.

Las muestras se mantuvieron en baño maría a 50°C, para permitir la fluencia en el viscosímetro/reometro, la muestra con una temperatura de 40°C a una agitación constante de forma manual, manteniendose dentro del baño maría hasta su uso.

Este procedimiento se utilizó para la obtención de la emulsión base para la formación de un chocolate en barra relleno, aplicado en todas las muestras antes mencionadas.

3.4.2 Preparación del chocolate

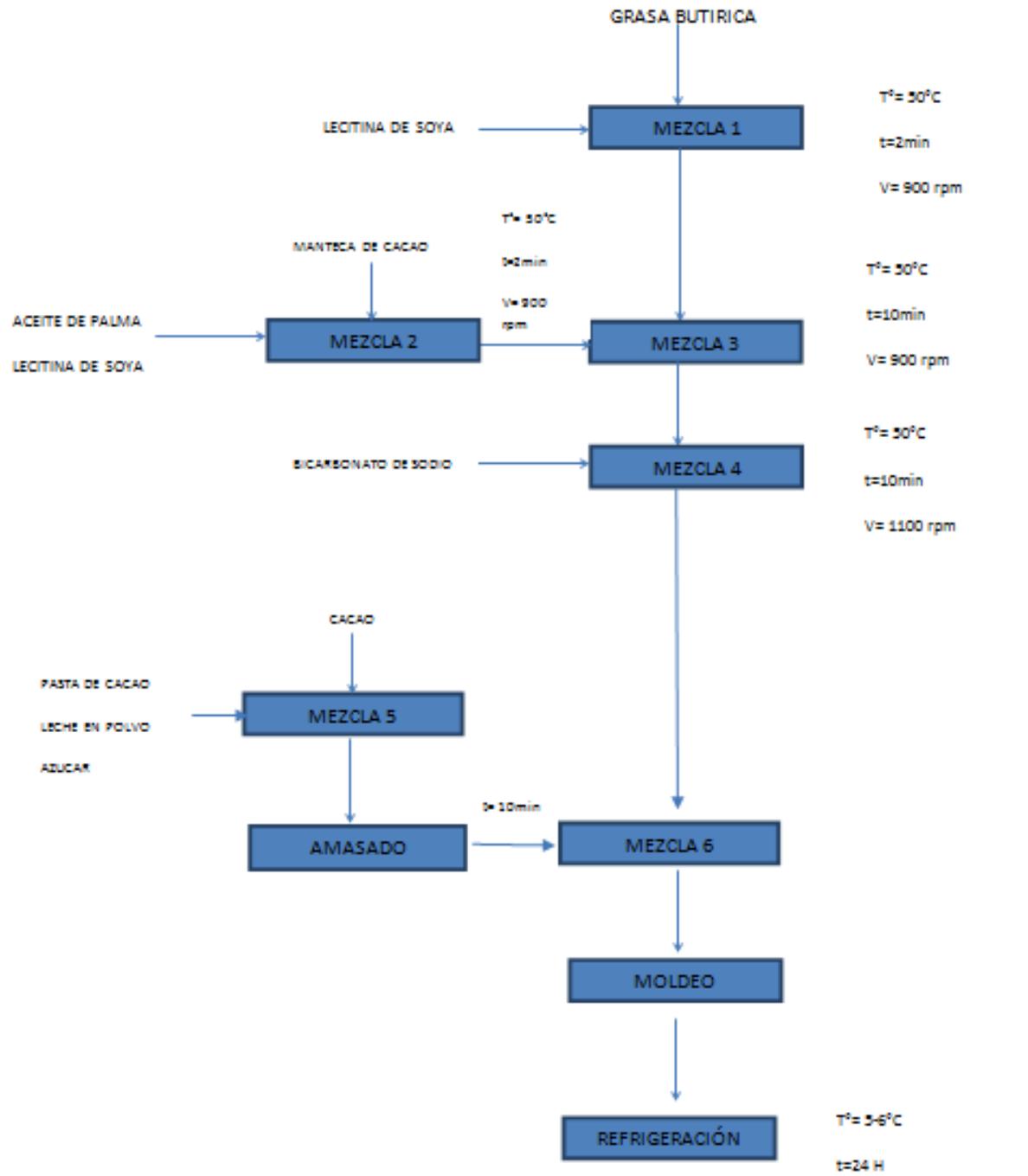


Figura 3.2: Diagrama de proceso del chocolate con leche.

Tomando como punto de referencia la preparación de la emulsión base en la cual la mezcla uno se virtió la grasa butírica en un homogenizador marca IKA ULTRA-TURREX T 25 con lecitina de soya a una temperatura de 50°C, por 2 minutos, posteriormente en el mezclador dos se colocan a baño maria la manteca de cacao y el aceite de palma hasta llegar a su estado líquido para la mezcla tres se adicionó las dos grasas y el resto de la lecitina de soya junto con la mezcla uno bajo una agitación constante se va incorporando en forma de hilo aumentando la agitación hasta 9000rpm, en un tiempo de 10 minutos. A la mezcla cuatro se le adiciono por último bicarbonato de sodio, dejando la mezcla por 2 minutos, para la mezcla cinco se realizó una mezcla de sólidos (pasta de cacao, leche en polvo, cacao, azúcar estándar), y se hace un amasado de manera manual con un rodillo por un tiempo de 10-15 minutos para la mezcla 6 una vez formada la emulsión base se le va a incorporar poco a poco una mezcla de sólidos a la emulsión que se tiene en agitación constante con un homogenizador marca IKA ULTRA-TURREX T 25, se deja el chocolate en agitación por 5 minutos.

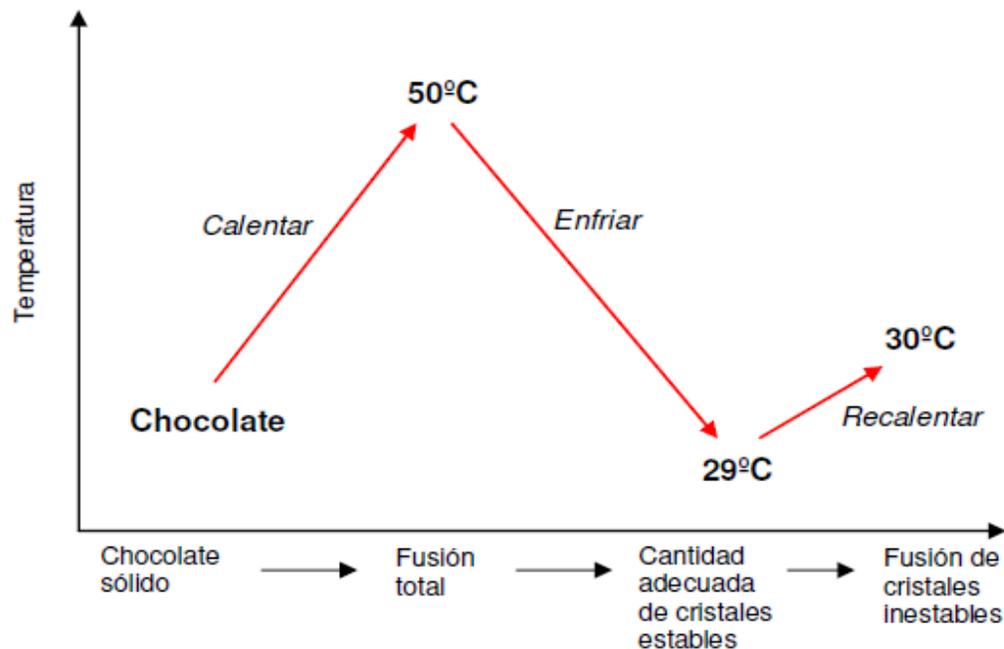


Figura 3.3: Eventos involucrados en el pre-enfriamiento.

Para el moldeo fue necesario un atemperado del chocolate se siguió el método culinario que consiste en una plataforma de marmol o loseta, en la cual se viertó $\frac{3}{4}$ del chocolate y se realizó con movimientos envolventes sobre esta, hasta que disminuya la temperatura a 30°C, nuevamente se vuelve a calentar a llegar a 35°C. Se vierte el chocolate en el molde y se colocó en refrigeración hasta su análisis.

Los eventos involucrados en el temperado se resumen en el siguiente esquema pasando por el chocolate sólido a un punto de fusión total dado a 50°C, para después cuando se empleó la loseta se hizo la formación de los cristales estables al enfriarse a 29°C y al volver a calentar a 30° C se funden los cristales inestables (Ceballos, 2016).

3.4.3 Preparación de microesferas

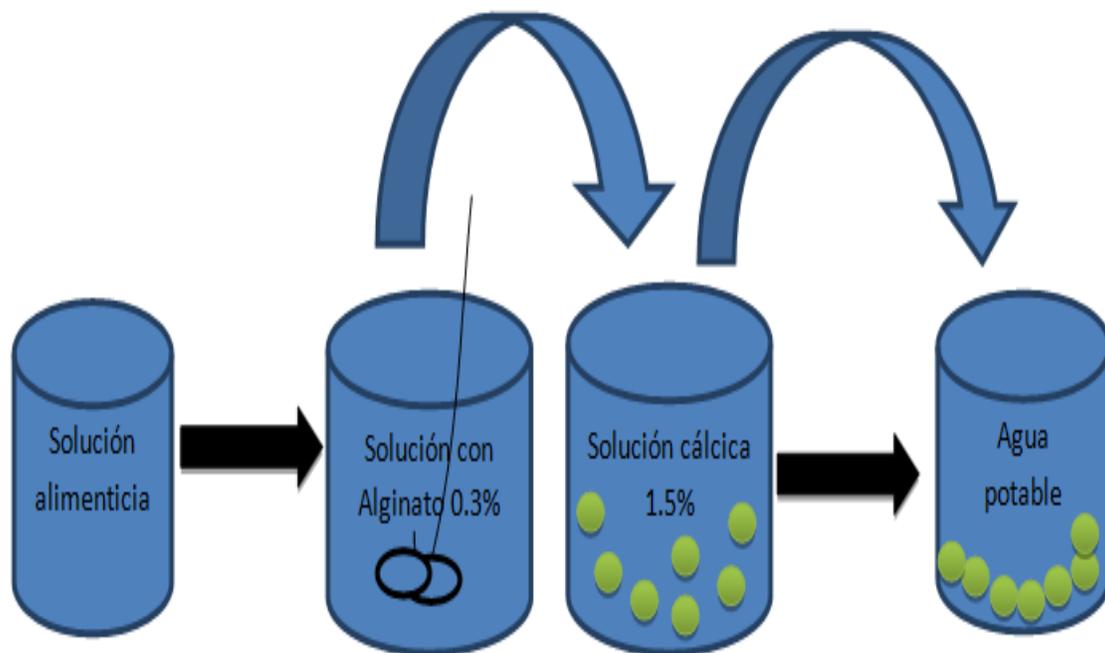


Figura 3.4: Gelificación iónica de los saborizantes.

Dispersar con el homogenizador marca IKA ULTRA-TURREX T 25 todos los sólidos (previamente mezclados manualmente) a una velocidad de 3000rpm alrededor de 5 minutos, con una temperatura de 50°C. Dispersó el lactato de calcio en agua con agitación manual por 3 minutos. Se colocaron 3ml en la jeringa y dejar caer 0.1ml dentro de la solución calcica 1.5% lentamente, dejó en reposo dentro de la solución 10 minutos Retirar de la solución con un colador y enjuagarlas con agua potable .Conservar en refrigeración.

3.4.4 Procedimientos analíticos

Para el estudio de las propiedades reológicas en las muestras para la determinación de la emulsión base se uso un viscosímetro de cilindros concéntricos HAAKE VT 550 tal como se observa en la Figura 3.5, geometría SV-DIN, las muestras se evaluaron a una temperatura 40°C, en un intervalo de cizalla de 0.1 a 300 s⁻¹, bajo cuatro intervalos (1ro de 0-300 s⁻¹, 2do se mantuvo en 300 s⁻¹, 3ro 300-0 s⁻¹ y 4to de 0-300s⁻¹).



Figura 3.5: Cilindros concéntricos.

Para el estudio de las propiedades reológicas del chocolate en las tres muestras más estables como emulsión base, se utilizó un reómetro marca HAAKE con una geometría de placa rugosa 35 mm, a una temperatura de 40°C y en un intervalo de cizalla de 0.5 a 61 s⁻¹.



Figura 3.6: Reómetro

3.4.5 Medición de estabilidad

- Para la determinación de la estabilidad en las muestras de la emulsión base, se mantuvieron a una temperatura de 40°C y se empleó una centrifuga marca DAMON/IEC DIVISION a una velocidad máxima por un tiempo de 20 minutos. En donde se considera el porcentaje de la separación de fases.
- Para la determinación de la estabilidad en las microesferas, se realizó mediante una diferencia de pesos, utilizando una balanza analítica. Tomando peso inicial al realizar las microesferas y peso final después de 24 horas de reposo bajo refrigeración.



Figura 3.7: Centrifuga

3.4.6 Medición de tamaño de partícula

- Para la determinación del tamaño de partícula en las muestras de la emulsión base se empleó un microscopio óptico marca NOVA, la muestra debe de estar a 40°C la cual se mantuvo en baño maria hasta su medición.
- En el caso de las microesferas se utilizó el calibrador vernier, tomando 25 muestras del diametro exterior de cada saborizante y los resultados fueron reportados por el promedio de estas mediciones.

3.4.7 Medición de perfil de textura

- En las tres muestras más estables se realizó el chocolate que fue moldeado en cubos de 4x4x4, para poder determinar sus parámetros texturales a través de un texturómetro marca SHIMADZU Figura 3.8, utilizando fuerzas de compresión y una geometria de cilindro de 1 in, a una penetración de 4 mm, registrándose la dureza, adhesividad y elasticidad. Todas las muestras fueron evaluadas a 25°C y por triplicado.

- En las microesferas Figura 3.9 se emplearon 19 g de muestra con las mismas condiciones para las muestras de la emulsión base, en estas se tomó para el análisis el registro de la dureza, resiliencia y elasticidad instantánea.



Figura 3.8: Texturómetro Shimadzu



Figura 3.9: Ejemplificación de las microesferas elaboradas.

- Para la determinación del chocolate relleno de las microesferas Figura 3.10 se usó el texturometro SHIMADZU, con una geometría cilindro de 1/8 in conservando las condiciones de penetración a 4mm y siendo evaluadas a 25°C. Obteniendo la dureza, cohesividad.



Figura 3.10: Moldeo del chocolate relleno.

3.4.8 Análisis térmico

Se realizó en un calorímetro TA INSTRUMENTS con una muestra de las tres más estables de chocolate 3-10mg con un aumento de temperatura de 5°C. para obtener el punto de fusión de las muestras y así poder predecir el tipo de cristales formados en el proceso de su elaboración y la verificación de su estabilidad Figura 3.11.

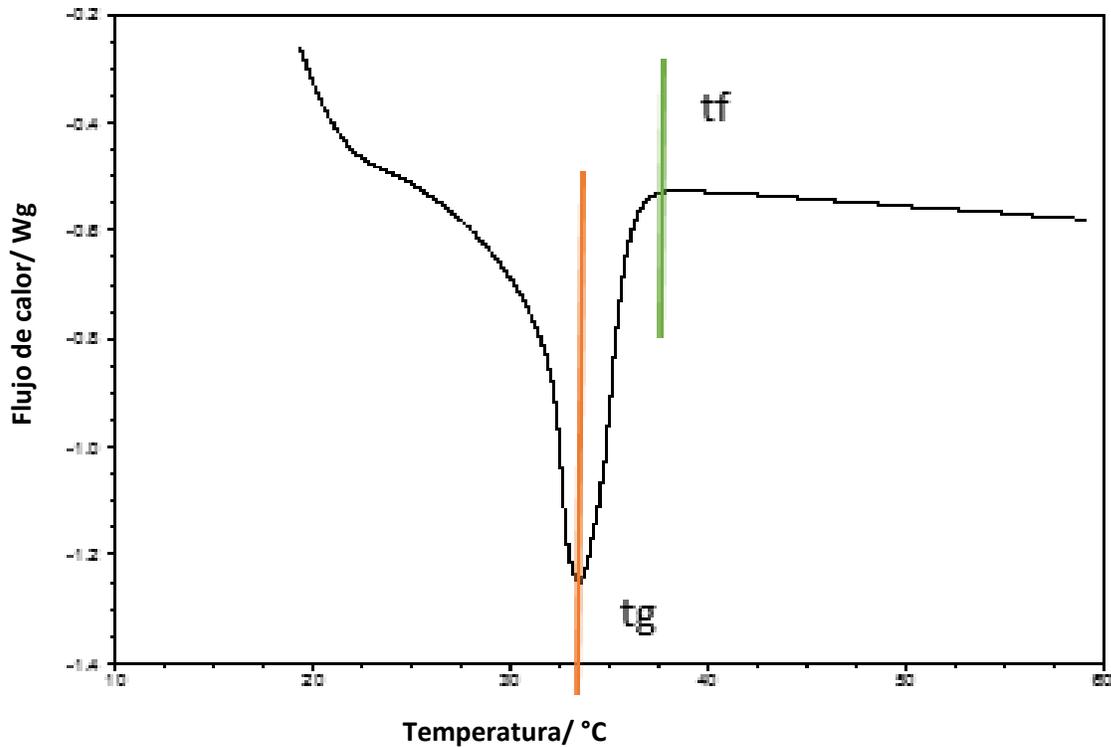


Figura 3.11: Ejemplificación de un termograma.

3.4.9 Análisis sensorial

Se realizó una evaluación sensorial por medio de un análisis hedónico estructurada a una escala de 9 puntos, con tres preguntas, con el fin de obtener el saborizante de mayor agrado a los 100 jueces los cuales fueron seleccionados de forma al azar, en el anexo 1 se puede observar el test completo de esta prueba.

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Elaboración de una emulsión base

El chocolate es un alimento en base a grasas naturales que están condicionadas a las propiedades plásticas de la fase lípida, en donde debe de ser considerado sus características reológicas, que afecta a varias propiedades tales como la viscosidad, consistencia, sensación en la boca (Glicerina & Romani, 2017), de punto de fusión/cristalización las cuales van a depender de la composición de sus triglicéridos; además estas dispersiones darán lugar a la formación de un chocolate tanto en sus propiedades fisicoquímicas y propiedades reológicas siendo el resultado de su proceso de formulación y fabricación (Glicerina & Romani, 2017).

Se prepararon 16 emulsiones para evaluar el efecto del porcentaje de grasa, emulsificante y ver la influencia en la estabilidad de la emulsión base, tomando como punto de partida las más estables.

Las interacciones entre las partículas suspendidas y la fase continua proporcionan información acerca de la red existente y por lo tanto pueden asociarse (Glicerina & Romani, 2017) con materiales agregados que incluyen sustancias diferentes a la emulsión base lo cual produce efectos en la estabilidad a nivel macroscópico y microscópico. Los materiales no tienen definido un porcentaje para ser clasificados como mayoritario o minoritario; sin embargo un compuesto que este cercano al 10% puede ser considerado minoritario (Ceballos, 2016).

Para elegir el emulsionante se tomó en cuenta el más utilizado en la industria del chocolate, la lecitina en concentraciones cercanas al 0.5% y literariamente se dice que no es factible el uso de este al 1% o más, sin embargo en este estudio se probó la concentración de hasta el 1.5% para corroborar lo establecido en la teoría.

4.1.1 Prueba de estabilidad en emulsión base

Como se puede observar en las siguientes Tablas 4.1- 4.4 las emulsiones 1-8 en donde se mantienen constante el porcentaje de manteca de cacao al 20% y los demás compuestos en sus dos niveles de variación en donde se puede ver que la concentración de la lecitina (como emulsificante) influye en el proceso de la formación de la emulsion; esto es debido a que cuando se encuentra a bajas concentraciones son pocas las moléculas de emulsificante (lecitina) que se localizan en la interfase formando una pobre película superficial ocasionando la separación de las fases, conforme se va aumentando la concentración del emulsificante (lecitina) la película superficial aumenta formando micelas las cuales adoptan diferentes geometrías; sin embargo si se sigue aumentando la concentración de la lecitina, sobrepasando la concentración micelar crítica (CMC) (Delacharlerie, y otros, 2017). La película interfacial se hace muy inestable ya que las moléculas se agrupan entre sí actuando como un reservorio teniendo la libertad de separarse de la micela y continuar con su movimiento en la solución, por otro lado se tiene que además a altas temperaturas se produce una desorganización creciente de las moléculas polares teniendo como consecuencia la separación de fase (Mutoh, Kubochi, Noda, Shiinoka, & Matsumura, 2007).

Tabla 4.1: Comparación de las emulsiones variando la concentración de lecitina

COMPOSICIÓN DE LA EMULSIÓN				
Manteca de cacao	Grasa butírica	Palma	Lecitina	
20%	5%	3%	0.50%	
			1.50%	

Cabe recordar que los glóbulos formados en la emulsión presentan una densidad diferente entre fase continua y dispersa, actuando sobre ellas una fuerza gravitacional mostrándose que para las emulsiones (Manteca de Cacao 20%, Grasa butírica 5% y Palma 3%) en donde se tiene una menor concentración de emulsificante los glóbulos que se forman tienen mayor densidad que la fase dispersa, provocando se sedimenten, mientras que al aumentar el porcentaje de concentración de la lecitina presenta una agregación que se origina por la atracción entre las partículas de grasas uniéndose y se forman agregados suspendidos en la emulsión Tabla 4.1.

Tabla 4.2: Comparación de las emulsiones variando la concentración de lecitina

COMPOSICIÓN DE LA EMULSIÓN			
Manteca de cacao	Grasa butírica	Palma	Lecitina
20%	5%	5%	0.50%
			1.50%




Continuando con las emulsiones (Manteca de Cacao 20%, Grasa butírica 5% y Palma 5%) se aumentó el porcentaje del aceite de palma en el cual el efecto por la concentración de lecitina al 0.5% se presentó el mecanismo de agregación (fenómeno de inestabilidad) y en la formulación donde contiene lecitina al 1.5% se da el mecanismo de cremado donde los glóbulos formados son menos densos que la fase dispersa haciendo que estos suban y permanezcan en superficie. Tal como se muestra en la Tabla 4.2; por ello no se lleva a cabo ninguna de las pruebas antes mencionadas de textura, reología o de análisis térmico.

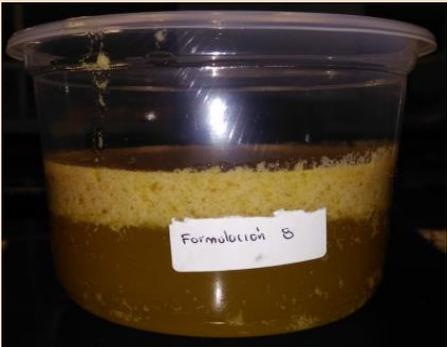
En la Tabla 4.3 se muestran las emulsiones (Manteca de Cacao 20%, Grasa butírica 15% y Palma 3%) que contienen una mayor concentración de grasa butírica manteniendo la distribución en el sistema donde la cantidad de emulsificante no influye en la estabilidad/ inestabilidad de la emulsión ya que en ambos se presentó el cremado.

Tabla 4.3: Comparación de las emulsiones aumentando la concentración al 15% de grasa butírica y variando la concentración de lecitina

COMPOSICIÓN DE LA EMULSIÓN				
MANTECA DE CACAO	GRASA BUTIRICA	PALMA	LECITINA	
20%	15%	3%	0.50%	
			1.50%	

Cuando se estudió el efecto de la concentración de aceite de palma al 5% y variando el porcentaje de lecitina se pudo observar que influye en la estabilidad, provocando que al tener una baja concentración de grasa las moléculas se unen con la parte hidrofílica haciendo que se vuelvan más densas depositándose al fondo (sedimentación) y al aumentar la concentración predomina la fosfatidocolina por sus propiedades estabilizadoras de las emulsiones aceite-agua (Heredia, 2008) va produciendo una disminución en la densidad de los glóbulos dándose el cremado, este análisis es solo de manera visual ya que por estas características no fueron sometidas a pruebas reológicas, texturales.

Tabla 4.4: Emulsiones a MC 20%, GB 15% Y AP 5% constantes.

COMPOSICIÓN DE LA EMULSIÓN				
MANTECA DE CACAO	GRASA BUTIRICA	PALMA	LECITINA	
20%	15%	5%	0.50%	
			1.50%	

Otro aspecto a considerar fue el color aunque literariamente no se tiene un estudio previo, para una comparación del cambio obtenido. Lo que se pudo observar por componentes es que la manteca en estado líquido es de color ambar oscuro, el aceite de palma de un amarillo traslucido al adicionar la lecitina, al hacer la emulsión por la coloración que se vuelve a obtener se ve que en todo el sistema hay interacción en menor medida con la grasa butírica.

Otro factor que se estudió fue el aumentar la concentración de la Manteca de Cacao al 30% y su efecto con las concentraciones de: Grasa butírica 5-15%, Palma 3-5% y Lecitina 0.5-1.5% se observó las propuestas de las emulsiones en la Tabla 4.5, en las cuales fue posible la formación de las emulsiones debido a que para cristalizar la grasa es necesario que la fase este sobresaturada implicando la

formación de núcleos y el crecimiento cristalino (Douaire, Norton, Suello, Lillford, & Norton, 2014), hasta formar redes tridimensionales. Visualmente no existe una separación de fases o componentes, para poder determinar cual presentó mayor estabilidad fue necesario realizar la prueba centrífuga en donde se obtuvo el porcentaje de fases de separación Tabla 4.5. Considerando que las emulsiones que presentan una mayor estabilidad son la emulsión 10 en tono naranja , emulsión 12 tono verde y emulsión 16 color amarillo.

Tabla 4.5: Porcentaje de separación de fases en las emulsiones.

Manteca de cacao	Grasa butírica	Palma	Emulsificante en mezcla	Lecitina en fase %	Suero de leche /agua %	Leche en polvo %	Emulsión %	Grasa %
30	5	3	0.5	0.51	NA	24.04	72.37	3.07
			1.5	NA	1.02	NA	97.96	1.02
		5	0.5	0.34	7.7	0.5	55.27	1.17
			1.5	0.43	0.72	NA	98.02	2.5
	15	3	0.5	0.29	17.47	0.97	74.91	2.85
			1.5	1	18	NA	82.83	3.83
		5	0.5	0.5	13.5	6	73.67	5.67
			1.5	NA	1.03	NA	98.44	0.52

En la Figura 4.1 se muestra en forma comparativa la emulsión con un menor porcentaje de estabilidad A y aquella de mayor porcentaje B, observándose en la parte sombreada de la imagen este porcentaje tomado en consideración para determinar la estabilidad.

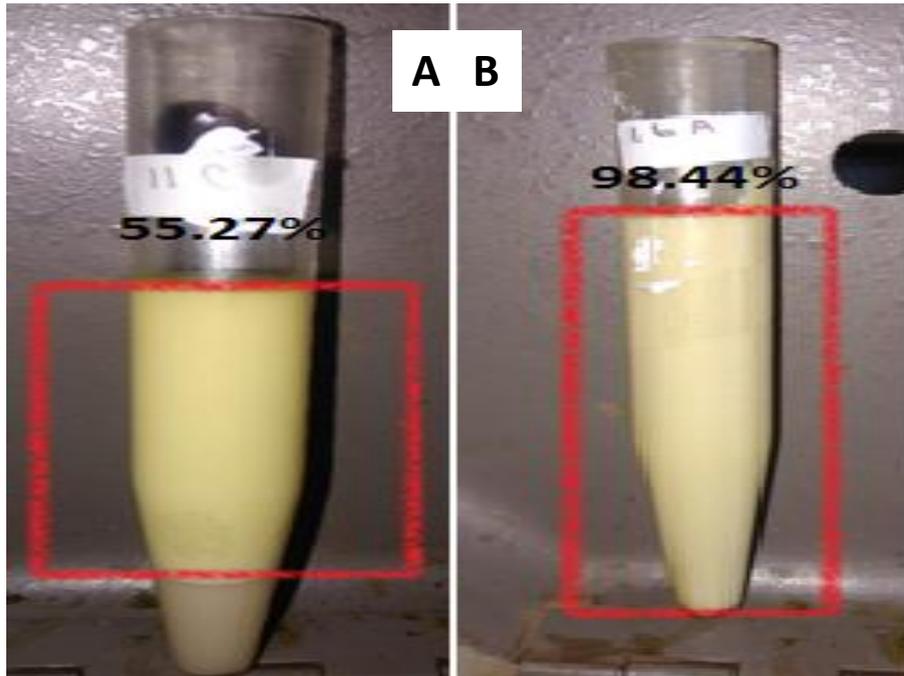


Figura 4.1: Muestra comparativa de la de mayor separación de fases (A) y la de menor separación de fases (B) de los tratamientos propuestos.

4.1.2 Prueba reológica en emulsión base

En las emulsiones continuas de aceite los cristales de grasa generalmente mejora la estabilidad al aumentar la viscosidad interfacial, pudiendo formar una capa cristalina alrededor de la parte hidrofóbica, experimentalmente esta teoría se cumple dado que en las emulsiones que se eligieron como las más estables la que presenta una mayor viscosidad es la emulsión MC 30%, GB15%, P5% y L1.5% estos valores fueron obtenidos utilizando el reómetro de cilindros concéntricos a una temperatura constante de 40°C, se representan en la Tabla 4.6 y Figura 4.2 en donde indica que la emulsión en mayor presencia de grasa butírica va a ir aumentando su viscosidad; sin embargo el chocolate de por sí es un fluido bastante viscoso teniendo un intervalo de 1.4 a 1.8 Pa.s.

Tabla 4.6: Valores obtenidos de la viscosidad en las 3 emulsiones más estables.

VARIABLES		
GRASA BUTIRICA %	PALMA %	LECITINA %
5	3	1.5
	5	
15	5	

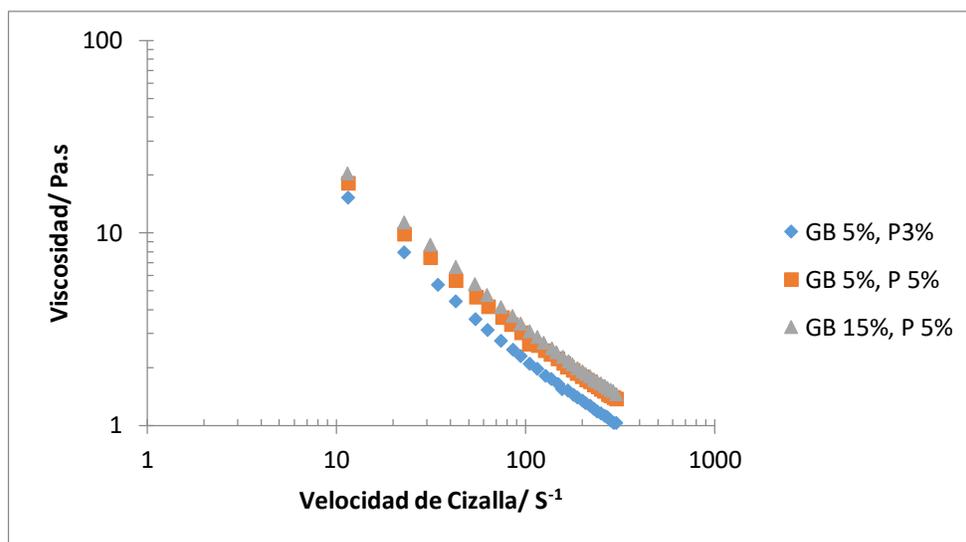


Figura 4.2: Gráfica de viscosidad de las emulsiones más estables.

El estudio reológico se llevó a cabo en todas las emulsiones que contienen el 30% MC para analizar el comportamiento reológico con las diferentes grasas, en relación con los modelos teóricos.

Se muestran los datos obtenidos de los tratamientos en una concentración de Lecitina de 0.5%, las cuales muestran que no tienen un comportamiento newtoniano. Al tener la mayor concentración de grasa butírica y grasa de palma se obtiene una mayor consistencia pero la emulsión es más adelgazante a la cizalla. Tabla 4.7 Se llevó a cabo la caracterización reológica de las emulsiones (Figura 4.3) se ajustaron los datos a un modelo de la potencia Oswald-Wale obteniendo el índice de comportamiento al flujo (n) y su índice de consistencia (k), se observó también en la Tabla 4.7 al aumento de la concentración de grasa de

palma va aumentando el doble de su índice de consistencia por lo que se vio favorecido en los resultados de estabilidad.

Tabla 4.7: Parámetros reológicos de emulsiones a 0.5% lecitina.

MODELO REOLÓGICO DE LA POTENCIA						
VARIABLES				PARAMETROS		
GRASA BUTIRICA %	PALMA %	LECITINA %		k (Pa.s ⁿ)	n [=]	r ²
5	3	0.5	\bar{x}	10.11	0.3817	0.9931
			C.V	15.81	2.316	
	5		\bar{x}	22.7	0.3663	0.9946
			C.V	9.7	4.63	
15	3		\bar{x}	10.42	0.4394	0.9862
			C.V	1.13	0.6919	
	5		\bar{x}	32.71	0.2865	0.976
			C.V	1.49	5.406	

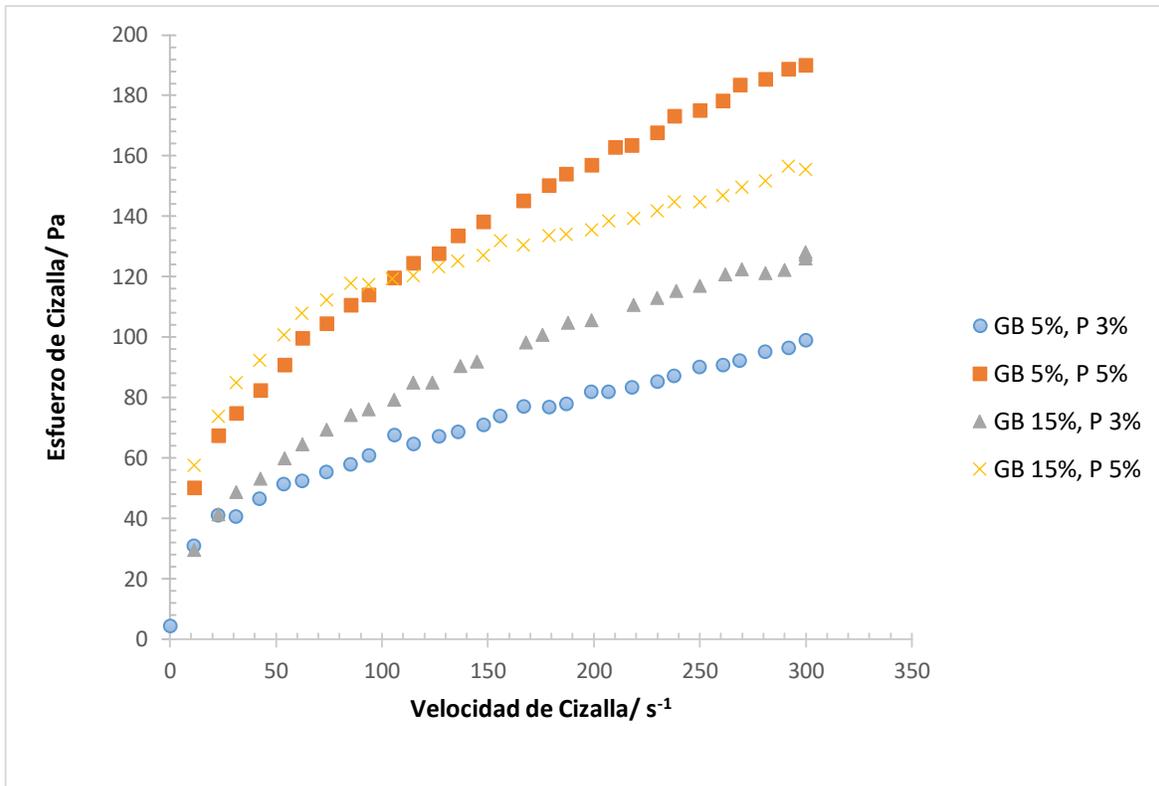


Figura 4.3: Gráfica de velocidad de cizalla vs esfuerzo de corte emulsiones al 0.5% lecitina.

Las emulsiones al 0.5% de lecitina el comportamiento es de un fluido de la potencia adelgazante a la cizalla, pero al aumento de la lecitina al 1.5%, manteniendo los porcentajes de GB al 5 y 15% y P 3 y 5% estas emulsiones se ajustaron al modelo de casson (Tabla 4.8) dado que físicamente las emulsiones son mas viscosas se requirió un mínimo esfuerzo inicial de 11.25 -13.55 Pa. mismo que se puede observar en la Figura 4.4 respecto a los porcentajes de grasa aquella que tiene GB 15%, P 5% es la que mayor necesita un esfuerzo, las otras no se ve tan influenciado la cantidad de grasa butírica pero si la de palma en donde para poder estabilizar se requiere mayor de esta. Siendo su comportamiento de fluido que es descrito por el modelo pseudoplástico.

Tabla 4.8: Parámetros reológicos de emulsiones al 1.5% de lecitina.

MODELO REOLÓGICO DE CASSON						
VARIABLES				PARAMETROS		
GRASA BUTIRICA %	PALMA %	LECITINA %		kc (Pa.s)	To (Pa)	r ²
5	3	1.5	\bar{x}	0.3202	12.08	0.9996
			C.V	3.0		
	5		\bar{x}	0.4213	12.65	0.9944
			C.V	1.5		
15	3		\bar{x}	0.3643	11.25	0.9962
			C.V	1.03		
	5		\bar{x}	0.3875	13.55	0.99105
			C.V	0.35		

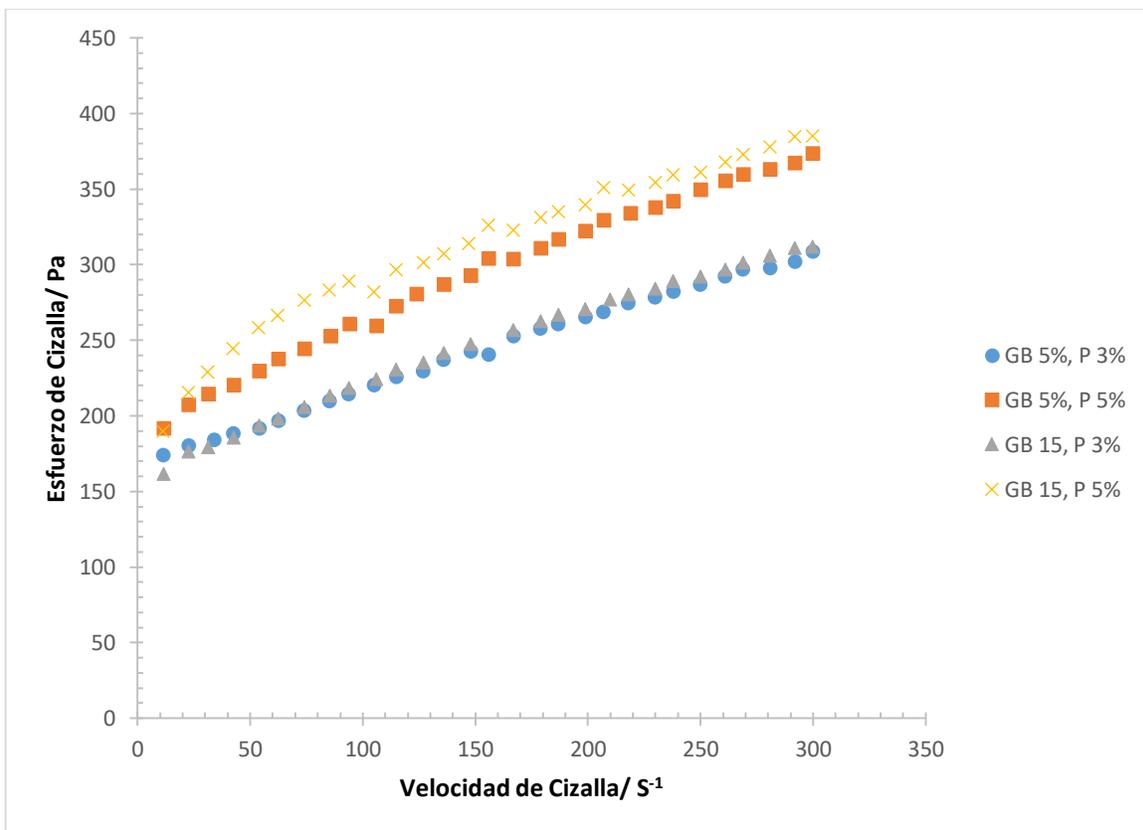


Figura 4.4: Gráfica de velocidad de cizalla vs esfuerzo de cizalla modelo Casson.

Se representan las tres emulsiones más estables de acuerdo al porcentaje de separación las cuales coinciden con los valores obtenidos en la Tabla 4.1 y en la Figura 4.4 donde las curvas de flujo se requiere de un mayor esfuerzo de corte para que se pueda iniciar con la fluidez, debido a que sus micelas están más unidas obteniendo una mayor viscosidad indicando de manera indirecta que el tamaño de partícula es menor sobre las emulsiones que tienen un menor porcentaje de grasa haciendo que sean estables, por ello en la emulsión de MC 30%, GB 15%, P 5% y L 1.5% se determinó ser la que se mantiene estable en comparación a las emulsiones a MC 30%, GB 5%, L 1.5% y P 3% - 5% respectivamente; sin embargo en el análisis estadístico Figura 4.5 se muestra que la interacción de los componentes es el de aceite de palma aquel que tiene significancia al cambio de concentración respecto a las otras grasas, y el emulsificante viéndose afectado el índice de consistencia K.

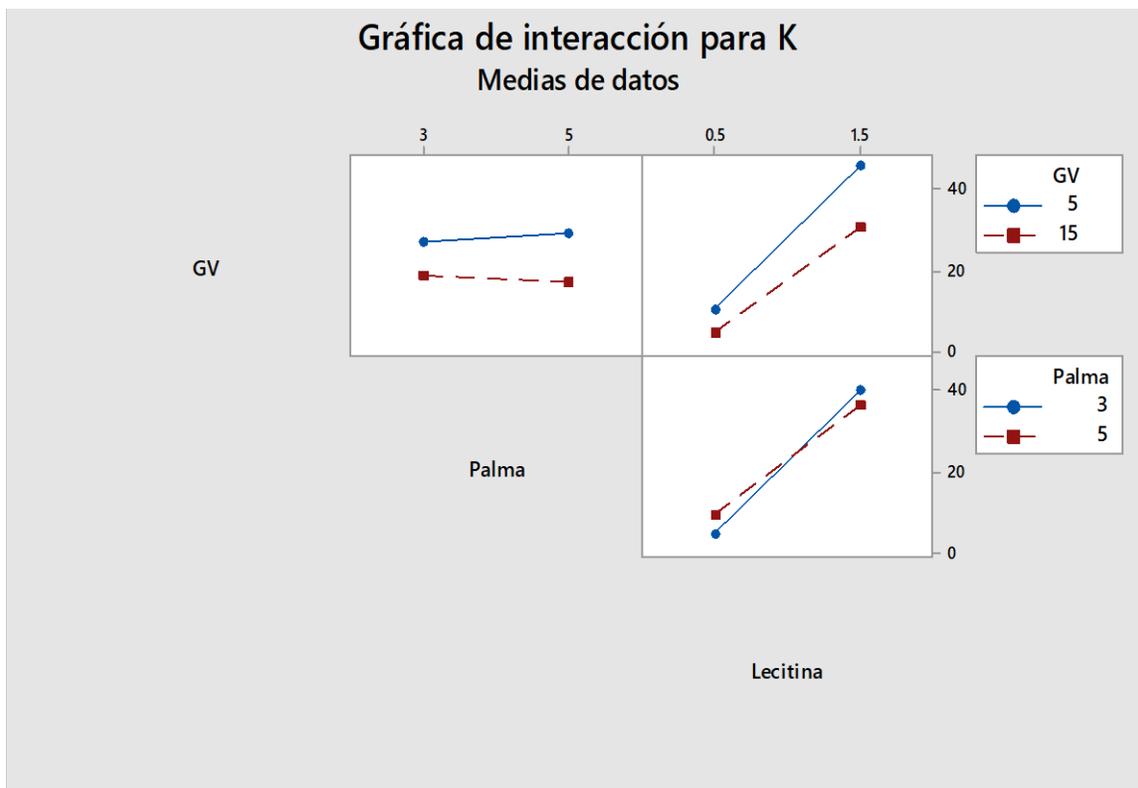


Figura 4.5: Interacciones de grasa.

Por lo que a partir de estas formulaciones se continua con el estudio del efecto de los demás componentes minoritarios (azúcar, leche en polvo, vainilla, etc) en la formación de un chocolate de leche.

Se retomó el proceso de la elaboración de la emulsión base una vez formado se incorporarán los ingredientes en distintos porcentajes en los cuales ahora no solo el emulsificante queda atrapado en las micelas de grasa sino también las partículas sólidas van a ocupar un espacio para evitar la floculación de las gotículas de grasa.

4.2 Elaboración de un chocolate

La manteca de cacao es un ingrediente caro que requiere pasar por un proceso de templado durante la fusión, que restablece los cristales de la manteca de cacao, el chocolate dando el brillo adecuado, encaje y el gusto. El templado impide floración, donde la manteca de cacao se separa de los sólidos de cacao y sale a la superficie, convirtiendo el chocolate de color blanquecino o grisáceo en color. El chocolate compuesto es un producto hecho de una combinación de cacao, grasa vegetal, y edulcorantes. Se utiliza como una alternativa de menor coste a la verdadera de chocolate; que utiliza las grasas menos costosos vegetales duros en lugar de la más cara (Rodríguez, Baracco, Javier, & Zaritzky, 2017).

4.2.1 Prueba reológica en chocolate

Por ello se planteó la adición de grasas vegetales en el desarrollo de un chocolate con leche. Como resultado resultado de la evaluación se obtuvo tres emulsiones estables las cuales al utilizar la caracterización reológica se determinó que el chocolate se ajustó a un modelo de la potencia adelgazante a la cizalla (Figura 4.6).

Como se muestra en la Tabla 4.9 al tener la menor concentración de grasa butírica y palma se obtiene una mayor consistencia la cual impide la solidificación de las

grasas, por ello al tener menor consistencia el chocolate tiene una mejor solidificación con una mayor concentración de grasas.

Tabla 4.9: Parámetros reológicos del chocolate

VARIABLES			PARÁMETROS			
GRASA BUTIRICA %	PALMA %	LECITINA %		K (Pa.s)	n	r ²
5	3	1.5	\bar{x}	145.53	0.768	0.996
			C.V	18.33	2.49	
	5		\bar{x}	67.74	0.7226	0.9933
			C.V	2.33	3.27	
15	5	\bar{x}	34.77	0.5508	0.994	
		C.V	4.61	4.11		

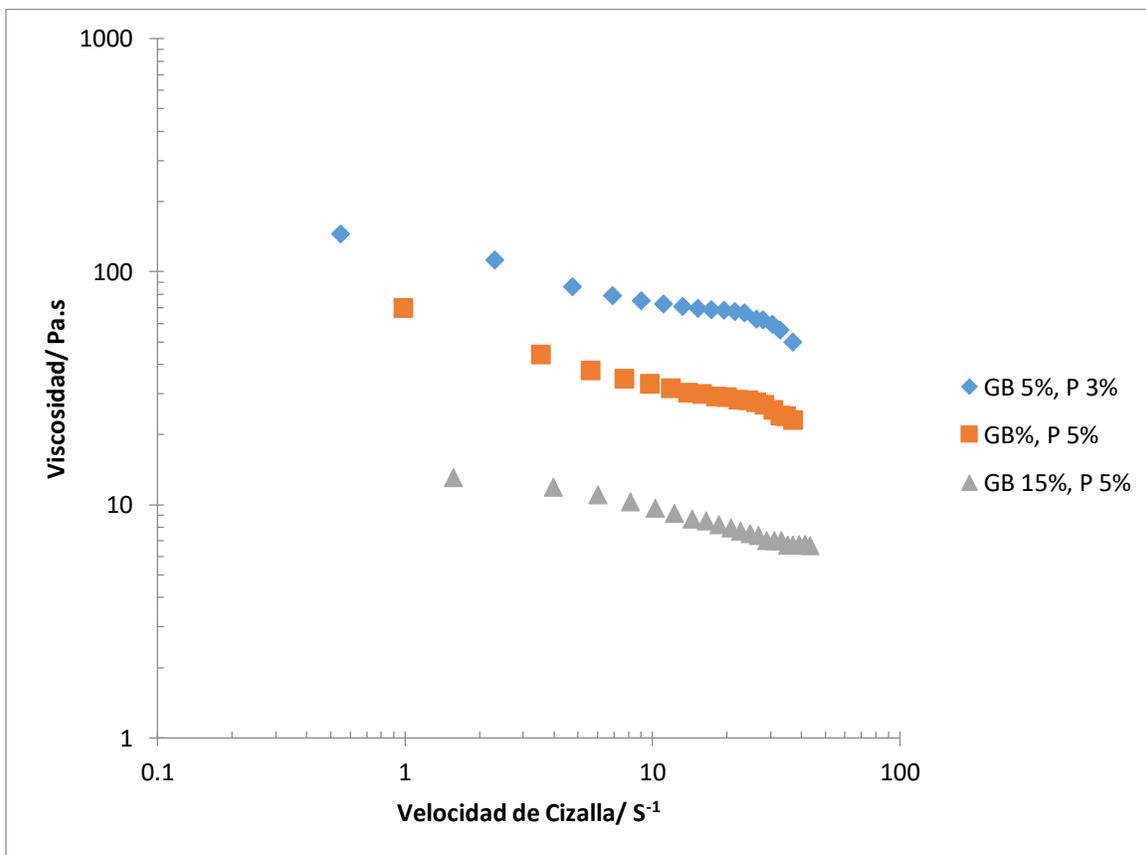


Figura 4.6: Gráfica de viscosidad a MC 30% y L 1.5%.

Llevandose a cabo el mecanismo de floculación por formación de puentes que establecen que a mayor concentración del emulsificante, puede darse que cada molécula de ésta puede interaccionar con más de una partícula de azúcar, formando “puentes” entre ellas y no favoreciendo a su libre movimiento y con la proporción de azúcar favorece a que los otros compuestos (leche en polvo, esencia de vainilla) pueden tener un “alcance” necesario para la unión de partículas.

4.2.2 Calorimetría en chocolate

Cabe recordar que para la formación del chocolate no solo implica la formación de los cristales y su crecimiento sino que también se lleva a cabo el poliformismo de estos cristales que serán aquellos que determinen la estabilidad de la emulsión, durabilidad, textura. El control del poliformismo dependerá de la temperatura, pudiendo cristalizarse en seis diferentes formas divididas en tres categorías α , β y β' cada una de estas categorías exhibe diferente estabilidad termodinámica a las temperatura de fusión (Glicerina & Romani, 2017). Las formas más inestables son de I-IV (17.3°-27.3° C) con una textura suave y apariencia opaca, la forma V (33.8°C) es estable aunque para llegar a esta forma se requiere de maquinaria más industrializada y no con la que se cuenta en laboratorio finalmente la forma VI (36.3°C) siendo la más estable normalmente se llega con el paso del tiempo por una transición sólido-sólido (Wille et col, 1996).

La adición de grasa de leche provoca un efecto suavizante sobre la manteca de cacao y los resultados en los chocolates son texturas más suaves (Liang & Hartel, 2004) y disminuye la temperatura de fusión por la cantidad de grasa presente en las emulsiones (MC 30%, GB 5%, P 3% Y L 1.5%), Y (MC 30%, GB 15%, P 5% Y L 1.5%), en donde (MC 30%, GB 5%, P 5% Y L 1.5%) en la Figura 4.8 se observa el termograma del punto de fusión obtenido de un DSC.



Figura 4.7: Atemperado del chocolate

Pero cabe recordar que se requiere un atemperado del chocolate que es un punto muy importante para esta formación de cristales y que también le confiere un brillo y textura final, la técnica que fue empleada es la del uso de un mármol para su atemperado Figura 4.7.

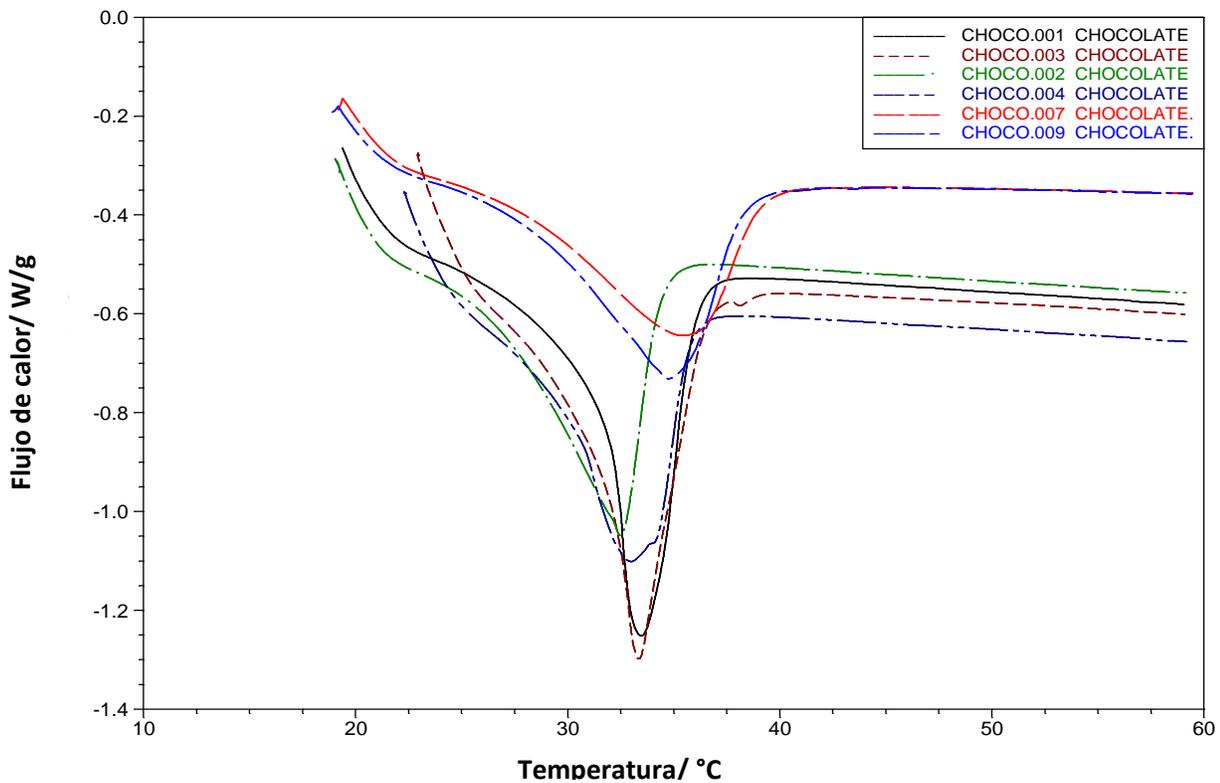


Figura 4.8: Termograma del punto de fusión de las emulsiones 10, 12 y 16.

Para el chocolate 10 (MC 30%, GB 5%, P 3% Y L 1.5%) el intervalo de su punto de fusión es de 31.63- 33.39°C, chocolate 12 (MC 30%, GB 5%, P 5% Y L 1.5%) es de 28.34-32.72°C y chocolate 16 (MC 30%, GB 15%, P 5% Y L 1.5%) es de 29.12- 35.67 °C. considerando que su cristalización esta en la V y VI fase. Mientras que su diferencia de entalpía oscila para el chocolate 10 (MC 30%, GB 5%, P 3% Y L 1.5%) 24.83 W/g, chocolate 12 (MC 30%, GB 5%, P 5% Y L 1.5%) en 23.76 W/g y para el chocolate 16 (MC 30%, GB 15%, P 5% Y L 1.5%) 20.19 W/g lo cual concuerda con los resultados de su viscosidad dando un chocolate más estable, ya que será la que requiere de un menor aporte calórico para su fluidez del chocolate 16 (MC 30%, GB 15%, P 5% Y L 1.5%) con 20.19 W/g, indicando que al aumento de grasa total no se tiene una relación con todos los demás componentes haciendo enlaces débiles.

4.2.3 Pruebas texturales (prueba de punción)

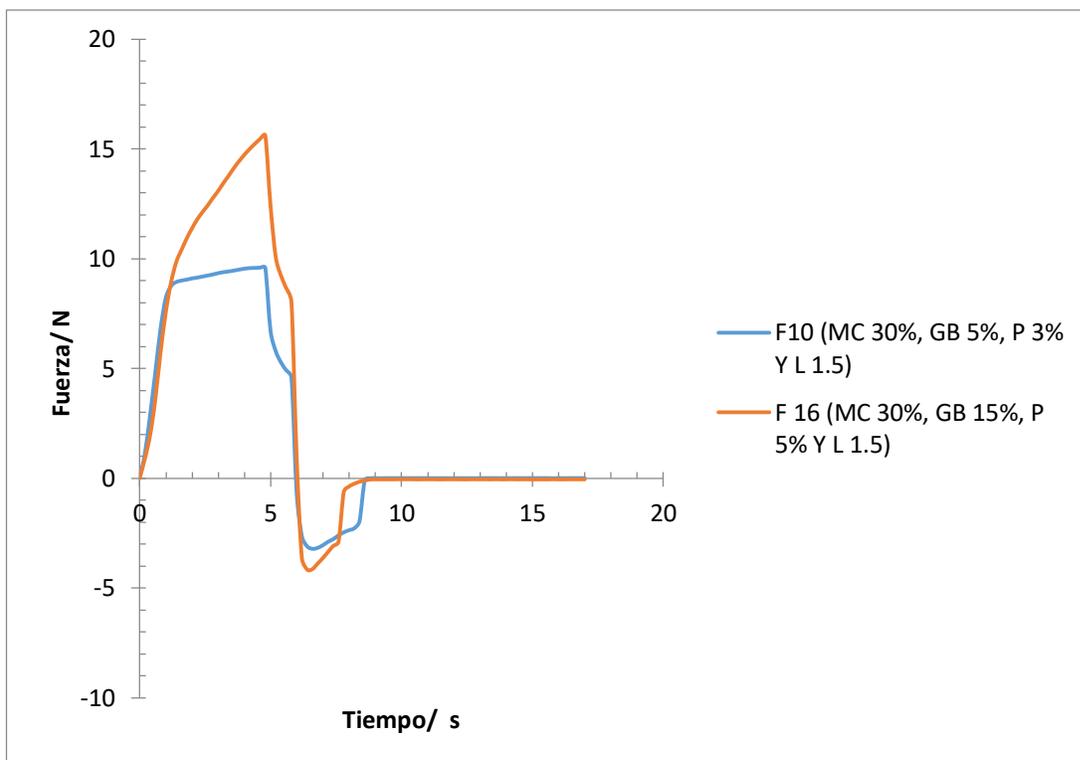


Figura 4.9: Prueba de penetración, dureza del chocolate en las emulsiones 10 y 16.

Se continuó con una prueba de punción a la cual en los chocolates con emulsión base (MC 30%, GB 5%, P 5% Y L 1.5%) no se pudo concluir con la prueba (Figura 4.10), su textura demasiado suave no permitió el desmoldeo a lo que se concluye que fue el efecto producido por un alto contenido de leche en polvo; sin embargo la formulación que presenta una mayor dureza del chocolate se rige por una combinación de la fase cristalizada lípidica y la fase dispersa sólida (cristales de azúcar, cocoa, leche en polvo) (Liang & Hartel, 2004) es el chocolate con emulsión base (MC 30%, GB 15%, P 5% Y L 1.5%) con 9.16 N de dureza, que el chocolate con emulsión base (MC 30%, GB 5%, P 3% Y L 1.5%) al 13.89 N debido a su mayor cantidad de grasa que es el componente que como ya se ha hecho mención es el que mantiene el sistema como un todo esto se ve representado en los picos de la Figura 4.9.

El esfuerzo de fractura del producto aumenta en medida en que exista una mejor cristalización de la grasa presente en las muestras, además se aprecia que la fracturabilidad esta ligada con la dureza y la cohesividad (Alvis et col, 2011).



Figura 4.10: Moldeo de las tres emulsiones más estables.

4.3 Elaboración de microesferas

Para la formación de las microesferas se llevó a cabo mediante la metodología de la gelificación iónica, en donde se realizó la medición del diámetro en 25 microesferas, tal como se muestra en la Tabla 4.8, la de menor tamaño fue menta siguiendo sin tanta diferencia la de rompope y frambuesa en los tres saborizantes se empleo el mismo procedimiento, sin embargo esta diferencia de tamaños fue por su consistencia de la dispersión.

Tabla 4.8 Tamaño de partícula de los saborizantes.

SABORIZANTES	Mm ϕ	SINERESIS %	DUREZA N
MENTA	3.32	18.18	2.28
FRAMBUESA	4.27	13.66	47.13
ROMPOPE	4.26	17.53	47.65



Figura 4.10: Microesferas de rompope

Posteriormente se midió su estabilidad por una diferencia de pesos, en donde se puede notar que las cápsulas del saborizante de frambuesa fue aquella que perdió menos líquido teniendo una sinéresis del 13.66 Tabla 4.8, por lo que nos indica que la red tridimensional formada es más estable en este sabor cuyo pH es neutro, en el caso del rompopo con una sinéresis de 17.53% por su consistencia fue más difícil la formación del encapsulado, a diferencia del sabor menta que fue aquel saborizante con menor estabilidad con el 18.18% pero para la formación de la cápsula fue más sencillo y un mayor rendimiento, en las Figuras 4.10, 4.11 y 4.12 se muestran los diferentes saborizantes en microesferas. Para su perfil de textura se muestra en la Figura 4.13 el mayor pico corresponde al saborizante de rompopo que tiene una mayor dureza de 47.65 N sobre los otros saborizantes debido a que cuesta más trabajo romper la cápsula a la primer mordida, siendo muy similar el comportamiento de la frambuesa con una dureza de 47.13 N este es el segundo pico que se muestra, con los resultados de estabilidad y el de dureza concuerda en las cápsulas de menta es el pico menor es más sencillo de romper debido a su tamaño y al ser más frágil su red formada (en la Tabla 4.8 puede verse la dureza de cada saborizante).

Observándose también en el perfil de textura no existe una adhesividad en ninguno de los tres saborizantes por lo que no requiere un trabajo adicional para ser retirado de alguna superficie.



Figura 4.11: Microesferas de frambuesa

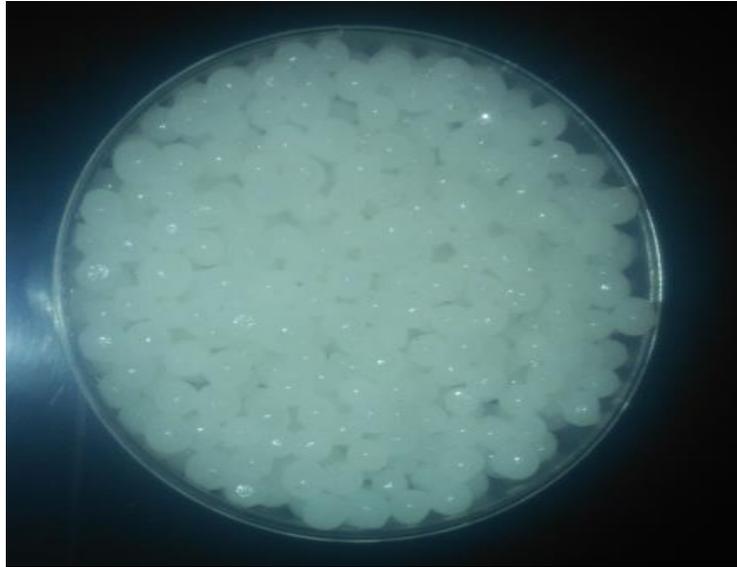


Figura 4.12: Microesferas de menta

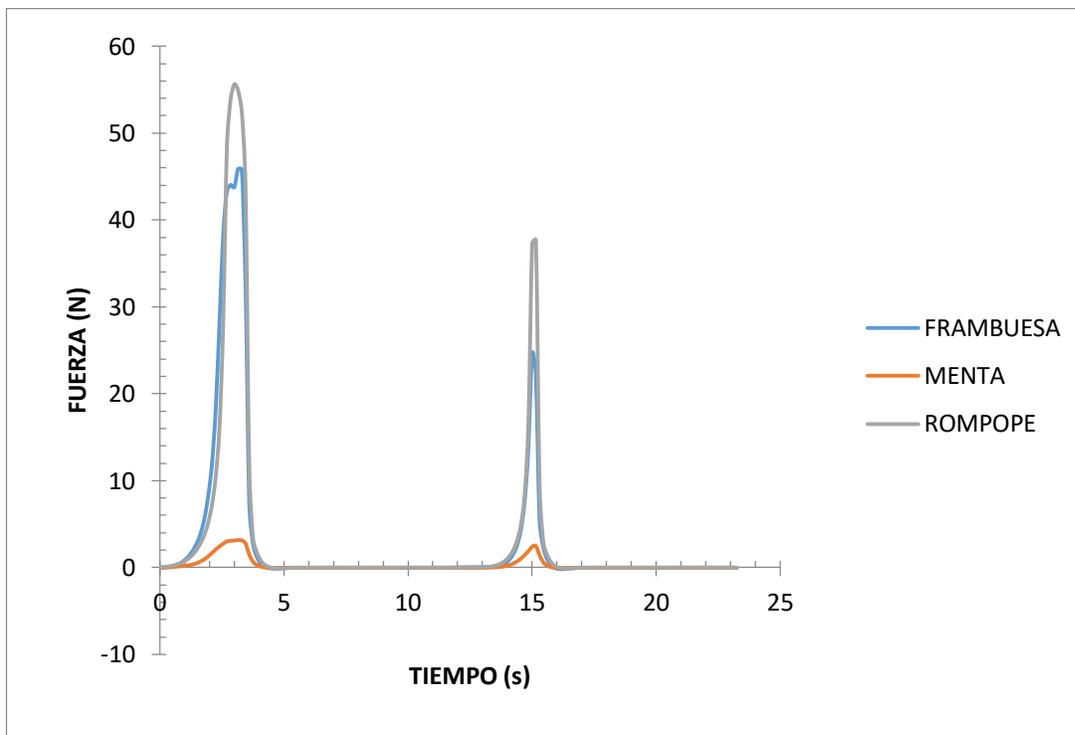


Figura 4.13: Perfil de textura de los saborizantes

4.4 Aceptación del chocolate

La importancia al elegir la emulsión base con mayor estabilidad en la dispersión de los sólidos, esta asociada con las experiencias sensoriales para el consumidor. Adicionalmente, significa que se tuvo un buen proceso de conchado (en este trabajo el tiempo fue aplicado para laboratorio y no industrialmente, por ello la formación del chocolate relleno se realizó en la emulsión (MC 30%, GB 15%, P 5% Y L 1.5%) de acuerdo a que presentó ser la de mayor estabilidad de acuerdo a su formación de cristales esto fue corroborado con la prueba de calorimetría que el punto de fusión esta en 29.12 – 35.67°C.

En el anexo 1 se muestra el test que se aplicó a 100 jueces seleccionados al azar, para la determinación de la aceptabilidad del chocolate obtenido.

Para el atributo de la textura el sabor con mayor aceptación fue el de menta seguido del rompope, teniendo una puntuación de 8 y 9 por igual para la nota de menta.

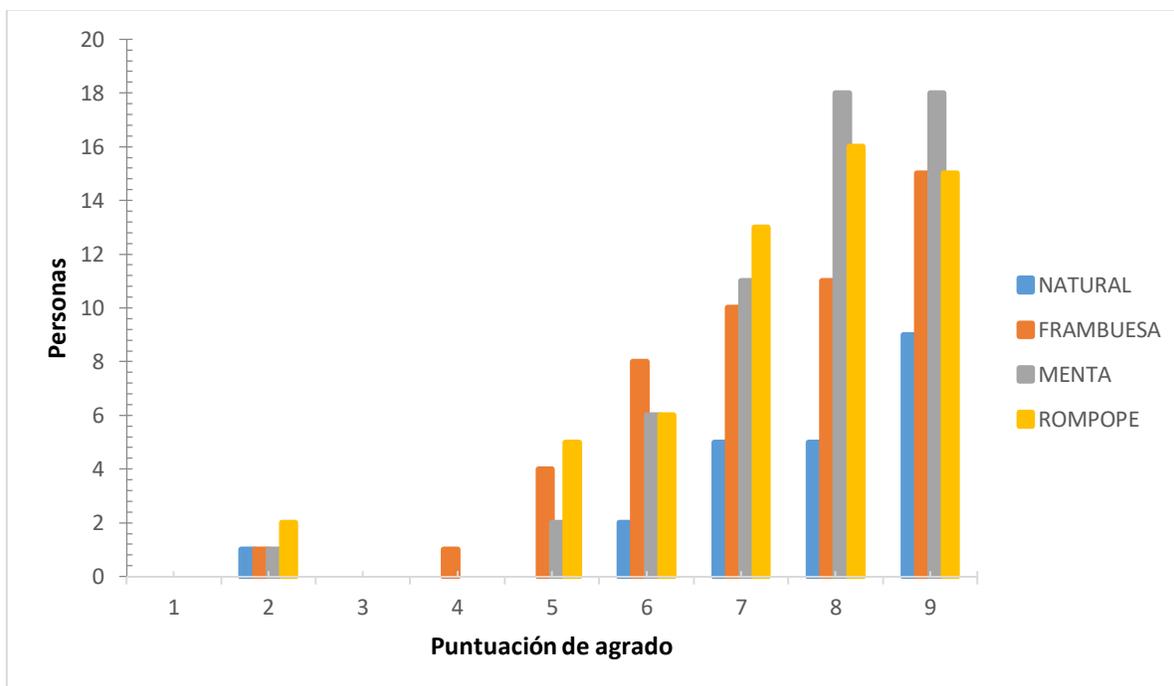


Figura 4.14: *Preferencia de chocolate relleno respecto a su textura: 1) me disgusta extremadamente, 2) me disgusta mucho, 3) me disgusta moderadamente, 4) me disgusta levemente, 5) no me gusta ni me disgusta, 6) me gusta levemente, 7) me gusta moderadamente, 8) me gusta mucho, 9) me gusta extremadamente*

En el atributo del color fue percibido como me gusta moderadamente, teniendo esta aceptación en el sabor de menta siguiendo del de rompope, cabe mencionar que en el sabor natural mostro levemente el fat bloom.

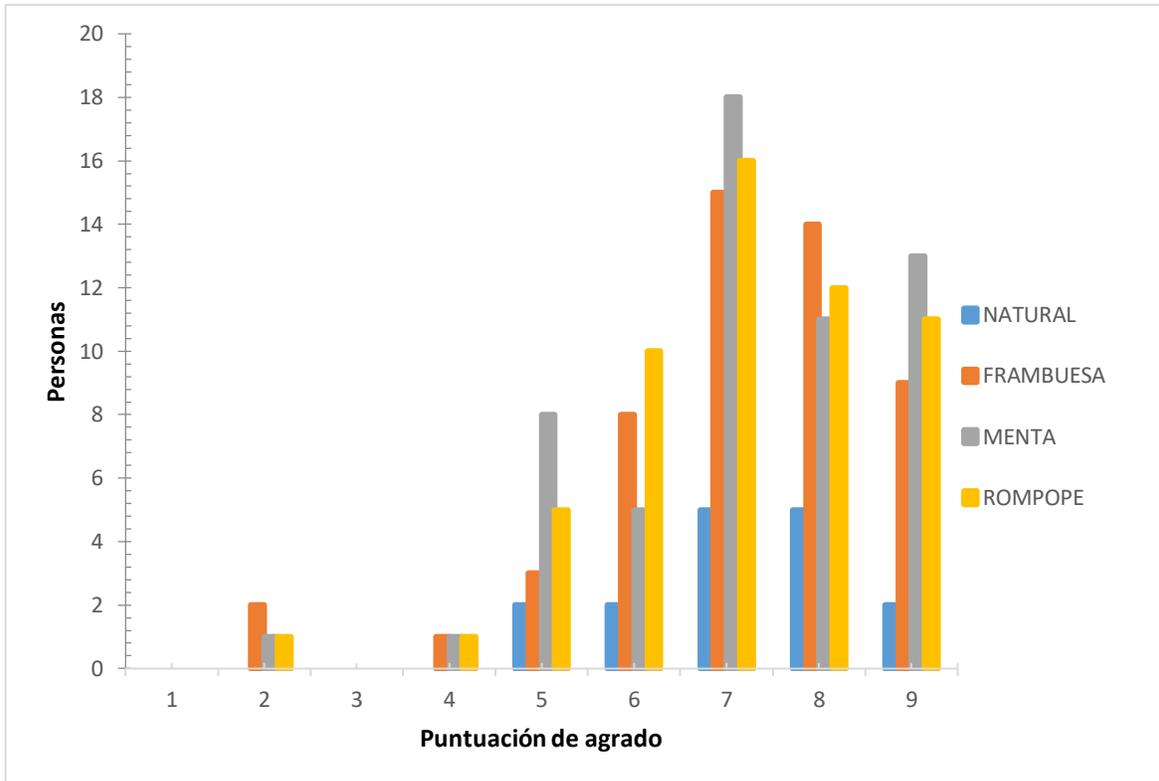


Figura 4.15: *Preferencia de chocolate respecto a su color: 1) me disgusta extremadamente, 2) me disgusta mucho, 3) me disgusta moderadamente, 4) me disgusta levemente, 5) no me gusta ni me disgusta, 6) me gusta levemente, 7) me gusta moderadamente, 8) me gusta mucho, 9) me gusta extremadamente*

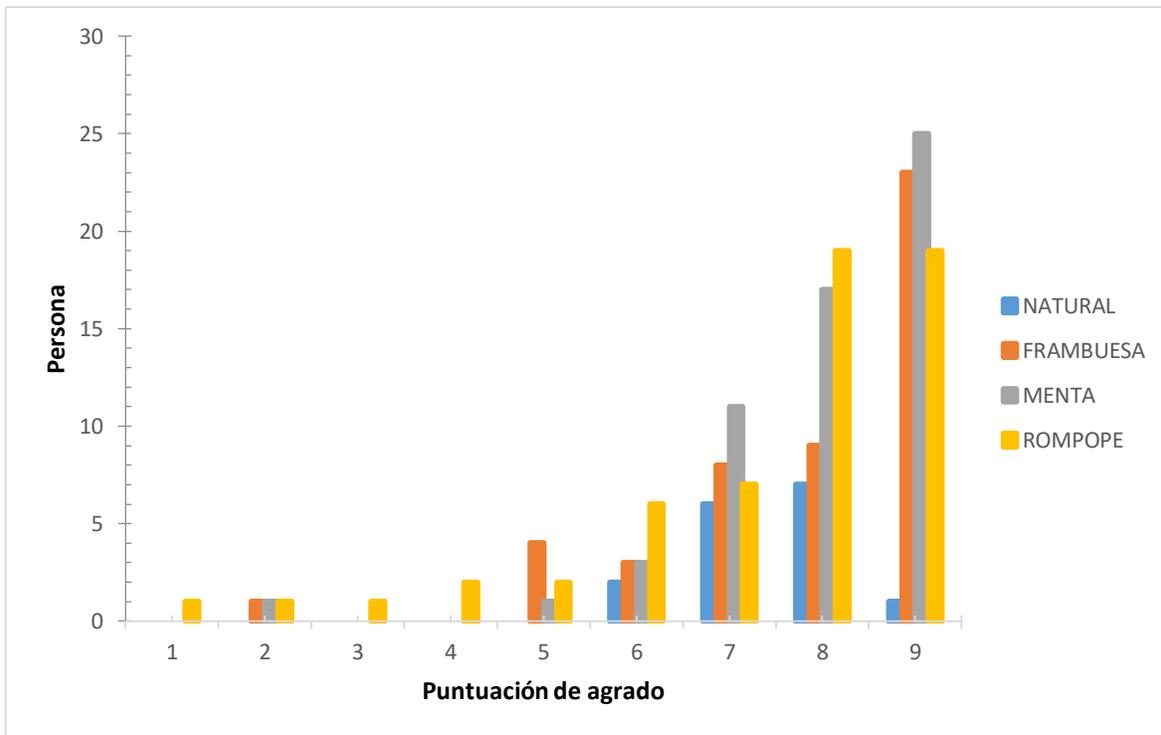


Figura 4.16: *Preferencia de chocolate respecto a su sabor: 1) me disgusta extremadamente, 2) me disgusta mucho, 3) me disgusta moderadamente, 4) me disgusta levemente, 5) no me gusta ni me disgusta, 6) me gusta levemente, 7) me gusta moderadamente, 8) me gusta mucho, 9) me gusta extremadamente*

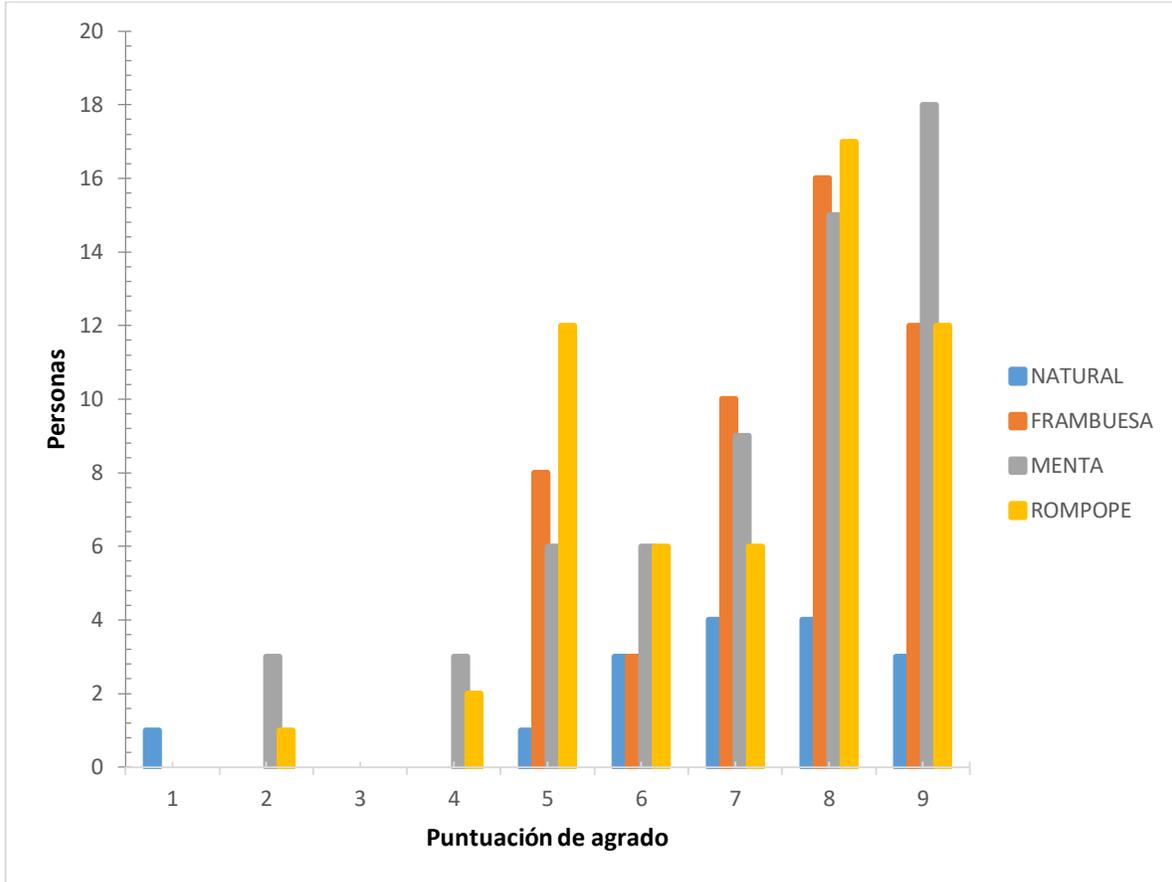


Figura 4.17: *Preferencia de chocolate respecto a su olor: 1) me disgusta extremadamente, 2) me disgusta mucho, 3) me disgusta moderadamente, 4) me disgusta levemente, 5) no me gusta ni me disgusta, 6) me gusta levemente, 7) me gusta moderadamente, 8) me gusta mucho, 9) me gusta extremadamente*

Tanto para los atributos de sabor y olor el que prevalece es el sabor menta y el de menor gusto así como de olor fue el de sabor natural, este solo fue como referencia para determinar la diferencia entre que contenga un relleno de sabor.

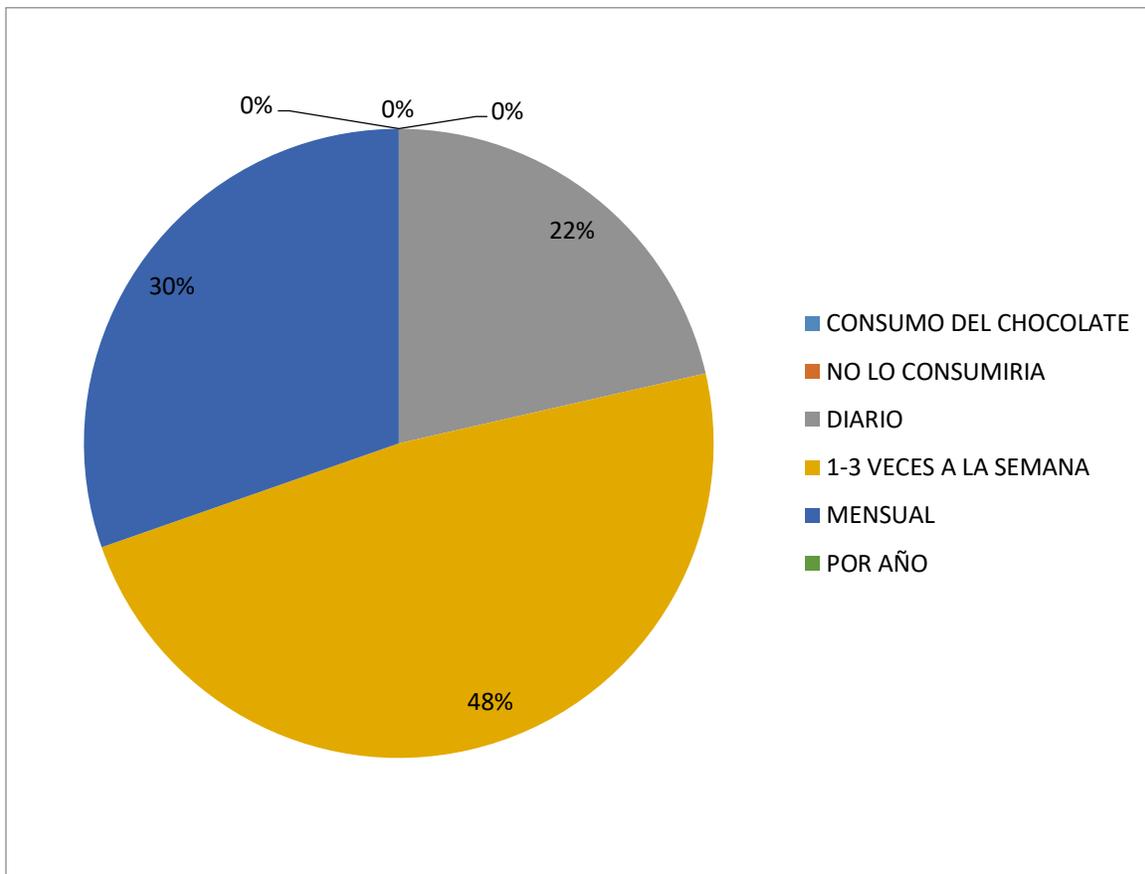


Figura 4.18: Frecuencia del consumo del chocolate

También en la encuesta nos da a conocer que el público es consumidor frecuente, en donde es de 1-3 veces a la semana y de los jueces/encuestadores nadie tiene su consumo prolongado de año.

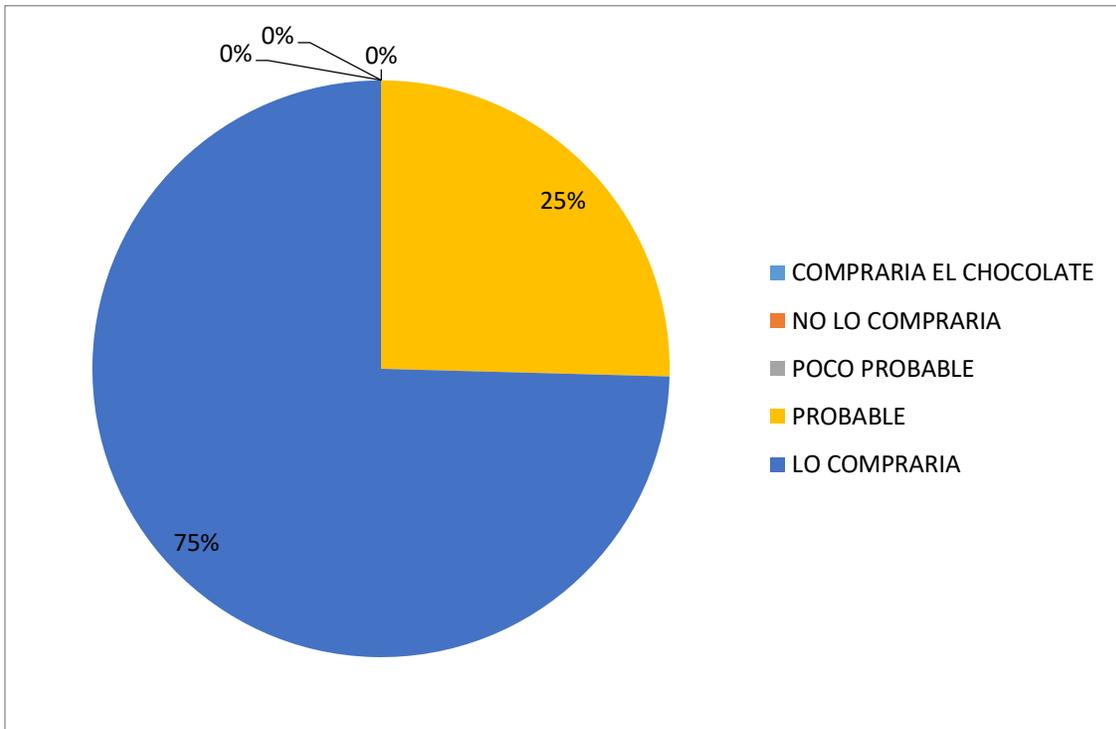


Figura 4.19: Probabilidad de comprar el chocolate.

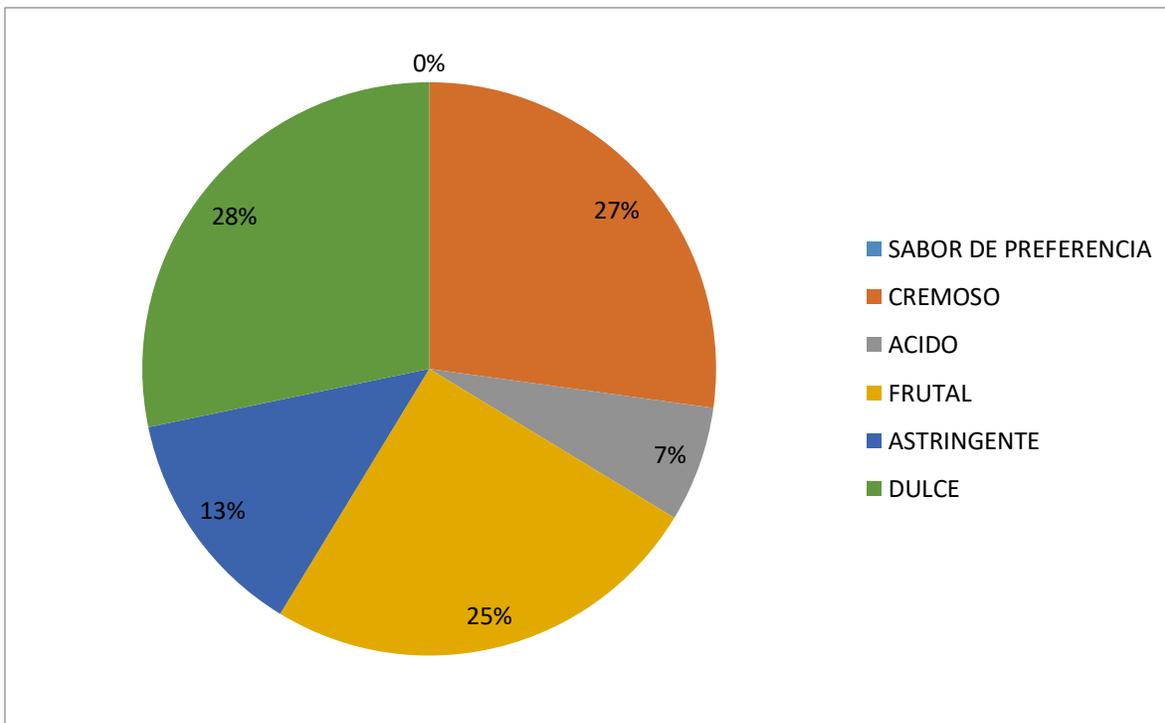


Figura 4.20: Sabor de preferencia de relleno en un chocolate de leche.

Para su sabor de preferencia con solo 1% de diferencia esta lo dulce vs cremoso, siguiendo de un sabor frutal, con esta variación de sabor en el mercado y con tan poca diferencia se puede abarcar aun mas el mercado con mayor variedad.

Se determinó la dureza del chocolate con la adición del relleno de microesferas en un texturometro obteniendo la Figura 4.21 que denota el cambio de textura con el sabor rompopo que lo vuelve menos duro 2.65 N y su adhesividad -0.0057 al ser negativa indica que puede ser pegajoso y pegarse en el paladar teniendo que usar un esfuerzo para retirarlo, y con las microcápsulas de menta vuelven al chocolate con una mejor consistencia que se aprecia en la dureza siendo el segundo pico el que lo indica ver Tabla 4.9.

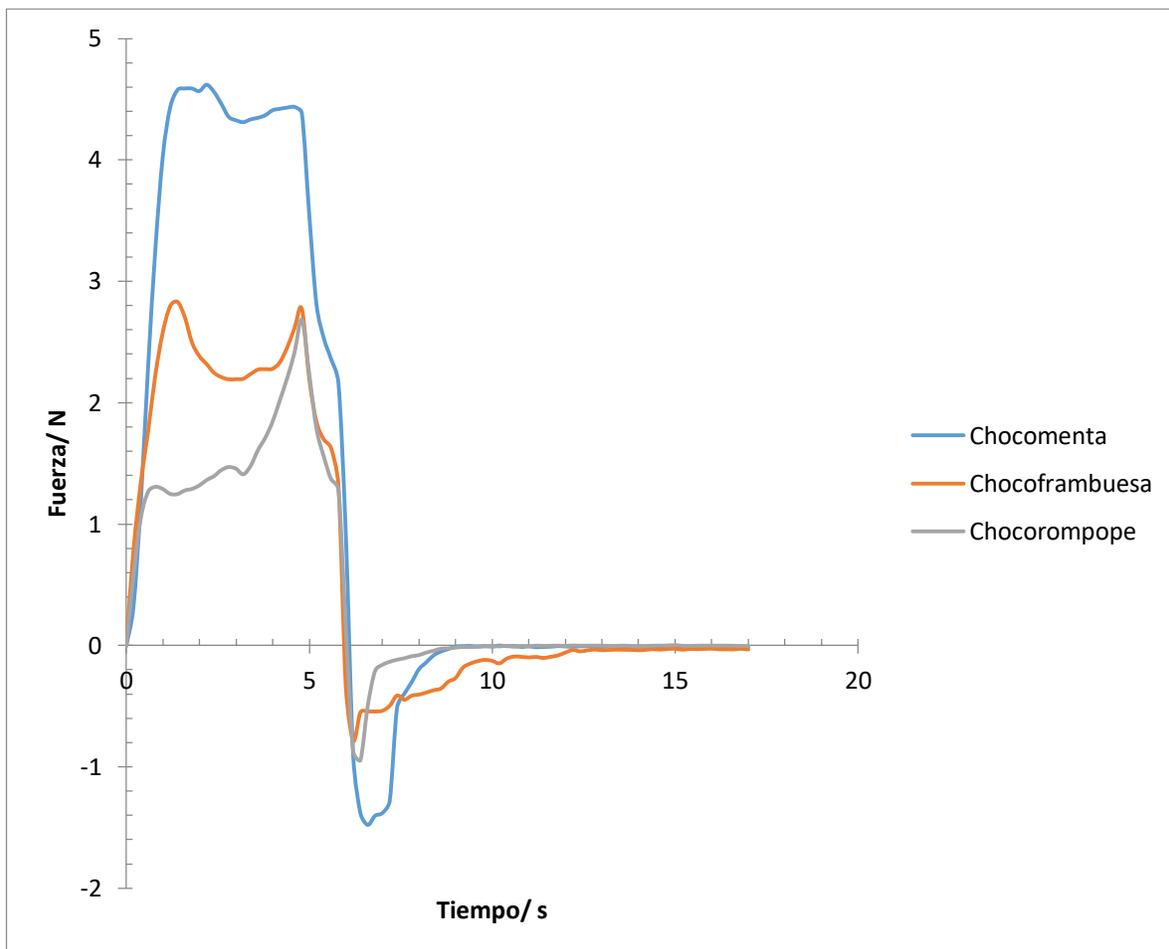


Figura 4.21: Prueba de penetración en el chocolate relleno.

Tabla 4.9: Parámetros de los chocolates rellenos.

SABORIZANTES	DUREZA N	ADHESIVIDAD J
CHOCOMENTA	2.65	-0.0057
CHOCOFRAMBUESA	2.95	-0.0014
CHOCOROMPOPE	4.62	-0.0160

CONCLUSIONES

- Las emulsiones con una menor concentración del 30 % de manteca de cacao no se logra la formación de la emulsión.
- Las emulsiones con una concentración del 30% de manteca de cacao y que además contienen un 15% de grasa butírica son estables.
- Las mejores condiciones de las emulsiones son con un 30% de manteca de cacao y 1.5% de lecitina de soya.
- La concentración de leche en polvo afecta significativamente la textura y la formación de cristales de grasa para la textura final del chocolate.
- La emulsión más estable sin los componentes minoritarios representa un fluido de Casson; sin embargo al añadirle estos componentes su comportamiento es mas semejante a un fluido adelgazante a la cizalla.
- El tamaño de las microesferas en sus tres saborizantes es similar.
- El chocolate con sabor a menta fue el más aceptado entre el panel.
- El color, olor en sus tres saborizantes no tienen un cambio significativo.

BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

Adán, P. D. (2008). *Manual de reología para el laboratorio multidisciplinario experimental I. Tesis de Licenciatura*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Alimentaria-México. (junio de 2015). Obtenido de <http://alimentaria-mexico.com/productos-de-confiteria#sthas.c0nlK4Wg.dpuf>

Arvizu, H. D., Hernández, C. G., & Rodríguez, M. E. (2002). Parámetros que afectan la conversión del ácido alginico en alginato de sodio. *Revista marina*, 27-36.

Avedaño, A., Villareal, F., Campos, R., Gallardo, M., Mendoza, L., Aguirre, M., . . . Espinoza, Z. (2011). Diagnóstico del cacao en México. *Universidad de Chapingo*.

Avedaño, R., López, M., & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos*, 87-96.

Ayarza, L. J. (2014). Los alginatos: 2000 usos de algas submarinas. *Revista de química PUCP*, 19-23.

Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. México: Editorial Pearson.

Barrera, C. M. (2013). *Emulsiones en el sistema alcohol tridecílico etoxilado y agua*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Beckett, S. (2003). *Fabricación y utilización industrial del chocolate*. México: Editorial Acribia.

Beckett, S. (2008). The science of the chocolate. 39-57.

Bourne, M. C. (2002). *Food texture and viscosity*. New York: Academy press.

Caballero, B., & Donna, M. (2014). *Aditivos alimentarios en la pastelería moderna: Gomas. Tesis de Licenciatura*. Instituto superior No. 4044 sol.

Castrillo, G., & López, A. (2009). *Análisis potencial de mercado de chocolate orgánico en los municipios de Matagalpa, León, Esteli y Managua a partir de la producción de cacao orgánico del municipio de Matiguas, en el año 2008. Tesis de Licenciatura*. Universidad Nacional Agraria.

Ceballos, M. (2016). *Estudios de los efectos de modificadores del comportamiento reológico y del estado sólido en chocolate y sus ingredientes. Tesis doctorado*. Argentina: Facultad de Ciencias Químicas.

Colín, R. (2004). *Evaluación de la calidad de cacao y chocolates artesanales provenientes de Tabasco. Tesis de Licenciatura*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Costas, B. M. (2015). Calor y proteínas. *Red digital universitaria*, 1-11.

Cuatzo, L. (2010). *Efecto de las condiciones de proceso en la conservación de alimentos encapsulados por el método de gelificación iónica. Tesis de maestría*. México: Instituto Politécnico Nacional.

- Delacharlerie, S., R, P., S, D., E, F., C, B., & S, D. (2017). Structuring effects of lecithins on model fat system: A comparison between native and hydrolyzed forms. *LWT- Food Science and Technology*.
- Douaire, B. M., Norton, V., Suello, S., Lillford, A., & Norton, P. (2014). Fat crystallisation at oil-water interfaces. *Advances in colloid and interface science*, 1-10.
- Economista. (12 de septiembre de 2017). Industrias el chocolate mexicano. México consume poco. *El economista*.
- ECOS. (25 de 01 de 2019). Obtenido de ECOS: <http://www.drinkecos.com/our-chocolate.html>
- Espinosa, J. A., Uresti, J., Vélez, A., Moctezuma, G., Inurreta, H. D., & Góngora, S. F. (2015). Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1051-1063.
- Feerman, M. C. (2015). *Estudio reológico mediante determinaciones oscilatorias de pequeña amplitud y determinación de propiedades de flujo en formulaciones de chocolate/menta y emulgentes comerciales. Tesis de Licenciatura*. México: Facultad de química.
- Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos*. México: Editorial Acribia.
- García, C., & López, M. (2012). Biopolímeros utilizados en la encapsulación. *Temas selectos de Ingeniería en Alimentos.*, 84-97.
- Glicerina, V., & Romani, S. (2017). Los avances en las mediciones de la tensión de fluencia para el chocolate. *El servier*, 459-478.
- González, V., Rodeiro, C., Sanmartín, C., & Vila, S. (2014). *Introducción al análisis sensorial: Estudio hedónico del pan en el IES Murgardos*.
- Hablemos claro*. (2017). Obtenido de <http://hablemosclaro.org/ingrepedia/goma-de-algarrobo/#1502295043079-a670ed68-b14f>
- Heredia, A. L. (2008). *Estudio termodinámico de surfactantes para lecitina, tween 60, tween 80. Tesis de Licenciatura*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernandez, E. (2005). *Evaluación sensorial*. Bogotá.
- Hernando, G. A. (2014). *Estabilidad y reología de emulsiones, modificando las propiedades de la fase continua por la adición de iones calcio, empleando mezclas de concentrado de suero con Gelana. Tesis de Licenciatura*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- ICCO. (25 de Noviembre de 2017). *International Cocoa Organization*. Obtenido de <https://www.icco.org/>
- Jeanet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2006). *Ciencia de los alimentos*. España: Editorial Acribia.
- Liang, B., & Hartel, R. (2004). Effects of milk powders in milk chocolate. *Journal American Dairy Science Association*, 20-31.

- Lira, T. (2005). *Efecto del catión calcio sobre las características reológicas de goma de semilla de algarrobo-prosopis chilensis (Mol.) Stuntz. Tesis de Licenciatura*. Chile: Universidad de Chile.
- Lupo, P. B., González, A. C., & Maestro, G. A. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. . *Revista Venezolana de ciencias y Tecnología de alimentos* , 130-151.
- Madrid, V. A. (2016). *Ingeniería y producción de alimentos*. AMV Ediciones.
- Martínez, T. (2016). *Efecto del concentrdo de suero de leche en la estabilidad y reología de emulsiones aceite en agua con goma tragacanto. Tesis licenciatura*. México: Facultad de Estudios Superios Cuatitlán.
- Mississippi, U. d. (19 de septiembre de 2018). *departamento de ciencia de los polimeros*. Obtenido de DSC: <https://pslc.ws/spanish/dsc.htm>
- Murgich, V. (13 de noviembre de 2015). *Merca 2.0*. Recuperado el 5 de agosto de 2018, de Merca 2.0: <https://www.merca20.com/los-10-paises-cuyos-habitantes-consumen-mas-chocolate-en-el-mundo/>
- Murgüeza, M. P. (2013). *Estudio de emulgentes comerciales en la formulación de chocolate amargo. Tesis de Licenciatura*. México: Universidad Nacional Autonoma de México.
- Mutoh, T.-A., Kubochi, H., Noda, M., Shiinoka, Y., & Matsumura, Y. (2007). Effect of oil- soluble emulsifiers on solidification of thermally treated creams. *International Dairy Journal*, 24-28.
- Ormeño, M. (2008). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Cacao-forastero-del-tipo-amelonado-amarillo_fig1_273321412
- Parra, H. R. (2010). Microencapsulación de Alimentos. *FAC. NAL.AGR*.
- Peso, E. P., Frontela, S., González, B. C., Ros, B. G., & Martínez, G. (2012). Polisacáridos de algas marinas como ingredientes funcionales en acuicultura marina: alginato, carragenato y ulvano. *Revista de biología marina y oceanografía*.
- Quitáns, R. L. (2008). *Reología de productos alimentarios. Tesis doctoral*. Chile: Universidad de Santiago de Compostella.
- Ramírez, T. E. (2011). *Reingeniería del proceso poductivo de chocolate en barra en una industria alimentaria. Tesis Licenciatura*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Rendón, C. A. (2016). *Influencia de la reología en la estabilidad de una emulsión láctea elaborada con concentrado de suero de leche y aceite vegetal. Tesis licenciatura*. México: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Reyes, N. L. (2010). *Optimización y caracterización de la microencapsulación de la protesa hemisférica refinada. Tesis maestría*. México : Universidad Politécnico Nacional .

- Rodríguez, H. M. (2005). *Microencapsulación por secado por aspersión de emulsiones múltiples w/o/w conteniendo carotenoides*. Tesis doctorado. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Rodriguez, L., Baracco, Y., Javier, L., & Zaritzky, N. (2017). Influence of hydrogenated oil as cocoa butter replacers in the development of sugar-free compound chocolates. Use of inulin as stabilizing agent. *Food chemistry* 217, 637-647.
- Rosenthal, A. J. (2001). *Textura de los Alimentos*. España: Acribia, S.A.
- Rozyciri, R. (2007). *Evaluación de las características reométricas de hidrocoloides obtenidos de semillas de prosopis sp (Algarrobo)*. Tesis de maestría. Argentina: Universidad Nacional del Litoral.
- SAGARPA. (2017). Cacao Mexicano. *Planeación agrícola nacional*, 1-13.
- Sandoval, A. A., Rodríguez, S. E., & Fernandez, Q. A. (2005). Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Dyna*, 45-53.
- Santander, R. V., & Solis, R. D. (2006). *Elaboración de un sustituto de crema pastelera tipo viena*. Tesis de Licenciatura. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- SENASICA. (2016). Escoba de bruja del cacao (Moniliophthora perniciosa). *Dirección general de sanidad vegetal-Programa de vigilancia epidemiológica y fitosanitaria. Ficha técnica #4.*, 1-21.
- Soto, H. (2012). *Influencia de la interacción de proteína de trigo con gretina, goma de mezquite y lecitina en el proceso de panificación*. Tesis de Licenciatura. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vélez, S. B. (2012). *Propiedades espesantes y estabilizantes del almidón de maíz ceroso entrecruzado en mezcla con goma xantana, en suspensiones con pulpa de guayaba*. Tesis de licenciatura. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Villanueva, M. E. (2014). *Fundamentos científicos y tecnológicos en la elaboración de alimentos en gastronomía molecular*. Tesis Licenciatura. México: Universidad Nacional de México.
- Zanetos, C. (16 de 01 de 2019). *Cdbury Industry*. Recuperado el 18 de 01 de 19, de Cdbury Industry: <https://www.candyindustry.com/2019/top-25-candy-companies>

ANEXO

CHOCOLATE CON LECHE RELLENO DE MICROESFERAS				
FECHA:				
NOMBRE:		EDAD:		SEXO:
Instrucciones:				
Frente a usted se presentan cuatro muestras de chocolate con leche rellenos de microesferas. Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en el que le gusta o le disgusta cada una de ellas, de acuerdo al puntaje/ categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de muestra.				
Puntaje	Categoría		Puntaje	Categoría
1	Me disgusta extremadamente		6	Me gusta levemente
2	me disgusta mucho		7	Me gusta moderadamente
3	Me disgusta moderadamente		8	Me gusta mucho
4	Me disgusta levemente		9	Me gusta extremadamente
5	No me gusta ni me disgusta			
CODIGO	CALIFICACION PARA CADA ATRIBUTO			
	OLOR	COLOR/ BRILLO	SABOR	TEXTURA
N				
F				
M				
R				
¿CONSUMIRIA EL CHOCOLATE?				
NO LO CONSUMIRIA	DIARIO	1-3 VECES POR SEMANA	MENSUAL	POR AÑO
¿COMPRARIA EL CHOCOLATE?				
NO LO COMPRARIA	POCO PROBABLE	PROBABLE	LO COMPRARIA	
¿SABOR DE PREFERENCIA DE RELLENO?				
CREMOSO	ACIDO	FRUTAL	ASTRINGENTE	DULCE