



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Estabilidad y Reología de una Base de Leche
Saborizada Utilizando Carrageninas Comerciales Solas
y en Mezcla con Hidrocoloides Espesantes**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

JIMENA CARRILLO BEDOLLA

ASESORAS:

DRA. LAURA PATRICIA MARTÍNEZ PADILLA

I.A. VERÓNICA ROMERO ARREOLA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Raúl y Patricia, por su amor, trabajo y sacrificios en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Gracias por su apoyo incondicional, por enseñarme a luchar por lo que se quiere y guiarme en todo momento, por demostrarme su cariño y sobre todo por confiar en mí. Porque esto es por y para ustedes, los amo mucho y son mi vida entera.

A mis asesoras la Dra. Laura Patricia Martínez Padilla e I.A. Verónica Romero Arreola por todo su apoyo, acompañamiento y guía para ayudarme a terminar esta etapa tan importante en mi vida, gracias por todas sus palabras de aliento.

A toda la comunidad LAPRYFAL por prestarme sus instalaciones, brindarme su apoyo en todo momento y por ser parte de esta investigación.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por brindarme formación profesional, a todos mis profesores porque de ellos aprendí mucho y fueron parte fundamental en esta etapa.

"Nothing that's worthwhile is ever easy."

- Nicholas Sparks

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
I. ANTECEDENTES.....	12
1.1 Leches saborizadas.....	12
1.1.1 Formulación.....	13
1.2 Proceso de elaboración.....	17
1.3 Funcionalidad de los ingredientes.....	18
1.3.1 Leche.....	18
1.3.2 Cacao alcalinizado.....	19
1.3.3 Azúcar.....	21
1.3.4 Hidrocoloides.....	21
1.4 Propiedades de la leche con chocolate.....	29
1.5 Reología.....	30
1.6 Estabilidad.....	34
II. METODOLOGÍA.....	36
2.1 Objetivos.....	36
2.2 Materiales.....	37
2.3 Actividades preliminares.....	37
2.4 Formulación.....	39
2.5 Métodos.....	40
2.5.1 Comportamiento al flujo.....	41
2.5.2 Densidad.....	42
2.5.3 pH.....	42
2.5.4 Estabilidad por transmisión y retrodispersión de luz.....	43
2.5.5 Tamaño de partícula.....	44
III. RESULTADOS.....	46
CONCLUSIONES.....	83
REFERENCIAS.....	85

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1.1 Formulación de Gelymar y FMC BioPolymer.....	14
Cuadro 1.2 Características y contenido específico (máximo) de ingredientes en bebidas lácteas saborizadas.....	16
Cuadro 1.3 Alternativas y sinergismo de los hidrocoloides más comunes.....	22
Cuadro 1.4 Modelos matemáticos de ajuste para diferentes comportamientos reológicos en materiales fluidos.....	32
Cuadro 2.1 Formulaciones para la base de leche saborizada con carragenina sola y en mezcla con hidrocoloide espesante.....	39
Cuadro 2.2 Formulaciones para la leche sabor chocolate con carragenina sola y en mezcla con hidrocoloide espesante.....	40
Cuadro 3.1 Parámetros reológicos de hidrocoloides espesantes en disolución acuosa.....	48
Cuadro 3.2 pH y densidad de la leche en rehidratada (10%) entera y semidescremada.....	49
Cuadro 3.3 pH de cacao (polvo) en agua y en leche rehidratada al 10%.....	50
Cuadro 3.4 Datos de moda (μm) de las diferentes leches de estudio.....	52
Cuadro 3.5 Datos de moda (μm) para las suspensiones de cacao en leche y agua.....	54
Cuadro 3.6 Nomenclatura para las formulaciones de base para leche saborizada y leche con chocolate.....	55
Cuadro 3.7 pH y densidad de las formulaciones de la base para leche saborizada elaboradas con carragenina estandarizada o refinada en leche rehidratada (10%) entera y semidescremada.....	57
Cuadro 3.8 pH y densidad de las formulaciones para leche con chocolate elaboradas con carragenina estandarizada y refinada en leche rehidratada (10%).....	58

	Página	
Cuadro 3.9	Parámetros reológicos (modelo de la potencia) de las formulaciones base para leche saborizada.....	62
Cuadro 3.10	Parámetros reológicos (modelo de la potencia) de las formulaciones de leche sabor chocolate.....	65
Cuadro 3.11	Datos de moda (μm) sin tratamiento ultrasónico para la formulación de una base para leche saborizada.....	68
Cuadro 3.12	Datos de moda (μm) con tratamiento ultrasónico para la formulación de una base para leche saborizada.....	69
Cuadro 3.13	Datos de moda (μm) sin tratamiento ultrasónico para la formulación de leche con chocolate.....	72
Cuadro 3.14	Datos de moda (μm) con tratamiento ultrasónico para la formulación de leche con chocolate.....	73
Cuadro 3.15	Velocidad de disminución de la retrodispersión de luz en el centro del tubo (30-40 mm) para las formulaciones de base para leche saborizada.....	79
Cuadro 3.16	Velocidad de disminución de la retrodispersión de luz en el centro del tubo (30-40 mm) para las formulaciones de leche con chocolate.....	80
Cuadro 3.17	Velocidad de clarificado en la parte superior del tubo para las formulaciones de base para leche saborizada.....	81
Cuadro 3.18	Velocidad de clarificado en la parte superior del tubo para las formulaciones de leche con chocolate.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Diagrama de bloques para la elaboración de leche sabor chocolate.....	17
Figura 1.2 Diagrama de bloques para la obtención de cacao en polvo.....	20
Figura 1.3 Estructura química de los diferentes tipos de carragenina (k- carragenina I y II, ι- carragnina y λ- carragenina).....	23
Figura 1.4 Solubilización y gelificación de las carrageninas.....	24
Figura 1.5 Interacción carragenina - proteína.....	26
Figura 1.6 Estructura química de la goma guar.....	27
Figura 1.7 Estructura química de la carboximetilcelulosa.....	28
Figura 1.8 Comportamiento reológico y relación estructural de una suspensión compleja.....	31
Figura 1.9 Representación gráfica del modelo de Carreau.....	34
Figura 2.2 Ejemplo del gráfico de retrodispersión de luz a través de la muestra.....	44
Figura 3.1 Esfuerzo de cizalla y viscosidad en función de la velocidad de cizalla para los hidrocoloides espesantes seleccionados.....	47
Figura 3.2 Distribución de tamaño de partícula para las diferentes leches de estudio (leche fluida entera, leche rehidratada entera y leche rehidratada semidescremada.....	51
Figura 3.3 Distribución de tamaño de partícula para el cacao alcalino en polvo en agua y en leche rehidratada (10%).....	53
Figura 3.4 Esfuerzo de cizalla y viscosidad en función de la velocidad de cizalla de las formulaciones base para leche saborizada.....	60
Figura 3.5 Esfuerzo de cizalla y b) Viscosidad en función de la velocidad de cizalla de las formulaciones para leche con chocolate.....	64
Figura 3.6 Distribución de tamaño de partícula para las formulaciones de base para leche saborizada a) sin tratamiento y b) con tratamiento ultrasónico.....	67

	Página	
Figura 3.7	Distribución del tamaño de partícula para las formulaciones de leche con chocolate a) sin tratamiento ultrasónico y b) con tratamiento ultrasónico.....	71
Figura 3.8	Gráfico de retrodispersión de luz a través de una muestra inestable de formulación base para leche saborizada en modo normal y referencia.....	75
Figura 3.9	Gráfico representativo de retrodispersión de luz a través de las muestras de las formulaciones base para leche saborizada y leche con chocolate en modo normal y referencia.....	76
Figura 3.10	Gráfico representativo de la velocidad de disminución de retrodispersión de luz en el centro del tubo (30-40 mm) en función del tiempo.....	78

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el efecto de dos carrageninas comerciales (estandarizada o refinada), solas a una concentración de 0.03% y en mezcla con hidrocoloides espesantes (goma guar o carboximetilcelulosa) a 0.015/0.015% tanto en leche entera como semidescremada rehidratada al 10%, proponiendo alternativas de mezclas de hidrocoloides para aplicar en bebidas saborizadas, y así determinar su efecto en las propiedades físicas, fisicoquímicas y reológicas (pH, densidad, viscosidad en función de la velocidad de cizalla y distribución del tamaño de partícula), con el fin de mejorar su estabilidad. En cuanto a las propiedades reológicas, las formulaciones (base y leche con chocolate) mostraron un comportamiento fluidificante a la cizalla descrito por el modelo de Ostwald, siendo las mezclas de carragenina-goma guar las que presentaron mayor viscosidad. Finalmente, la estabilidad fue mayor en la formulación con carragenina refinada en leche semidescremada, ya que se observaron las menores velocidades de clarificación, así como aumento de tamaño, esto se atribuyó a que existe una mayor interacción entre la carragenina y las proteínas presentes en la leche, pues su contenido es mayor (34 g/L) y la carragenina se encuentra en una mayor concentración (0.03%).

INTRODUCCIÓN

En la industria láctea es cada vez más frecuente el desarrollo de leches saborizadas debido no sólo a sus características nutricionales y sensoriales, sino que además brindan una alternativa para los consumidores por su sabor y practicidad favoreciendo su consumo entre niños, jóvenes y adultos. La leche sabor chocolate es la más popular, formulada básicamente con leche, azúcar, cacao en polvo y algunos hidrocoloides que son agregados para mejorar la consistencia y prevenir la sedimentación de las partículas de cacao, debido a que sólo el 20-30% de éstas son solubles en la leche (Yanes *et al.*, 2002b; Spreer, 1991).

Las características particulares de los diferentes componentes como el contenido de grasa en la leche, la alcalinidad y el color del cacao en polvo, tipo y concentración del hidrocoloide agregado, producen diferencias notables en la composición final, específicamente en las propiedades físicas y sensoriales de los productos formulados.

El efecto del contenido de grasa en la viscosidad (Kristensen *et al.*, 1997; Phillips *et al.*, 1995; Wayne y Shoemaker, 1988), la relación existente entre las características fisicoquímicas de las micelas de caseína (Prentice, 1992), así como el efecto de los hidrocoloides en el comportamiento al flujo (Langendorff *et al.*, 2000; Oakenfull *et al.*, 1999; Schmidt y Smith, 1992) han sido estudiados en leche, por ser el componente en mayor proporción en estas bebidas.

Es de esperarse que ingredientes como el azúcar, el cacao en polvo y los hidrocoloides puedan ejercer influencia en las propiedades reológicas de las bebidas saborizadas, además de que la viscosidad es una propiedad física de gran importancia en etapas de control de calidad de ingredientes, así como en el producto terminado, en el diseño de procesos y para el desarrollo de alimentos (Yanes *et al.*, 2002a; Tárrega *et al.*, 2005).

La inestabilidad caracterizada por una separación de fases o sedimentación de partículas en productos alimenticios, es también un aspecto de suma importancia en el estudio de las leches saborizadas, esto se ha convertido en un reto, tanto tecnológico como científico. En las leches con chocolate existen dos tipos importantes de fenómenos observables, la formación de capas de color café oscuro y claro, conocido como segregación y la sedimentación de las partículas de cacao (Van Den Boomgaard *et al.*, 1987).

Los polisacáridos provenientes de plantas y algas, como las carrageninas, han sido utilizadas como agentes espesantes y estabilizantes en productos lácteos, previniendo el problema antes mencionado (Grindrod y Nickerson, 1968). La carragenina generalmente en mezcla con otros hidrocoloides espesantes como la carboximetilcelulosa, la goma guar o la goma xantana, es un aditivo ampliamente usado en la elaboración de leches saborizadas, como puede apreciarse en el contenido reportado en productos comerciales.

Las carrageninas comerciales suelen ser productos estandarizados con dextrosa, maltodextrina o alguno de los espesantes antes mencionados. En varios estudios se han investigado las interacciones que existen entre las carrageninas y las proteínas presentes en la leche (Li y Nie, 2015; Langendorff *et al.*, 2002; Xu *et al.*, 1992) proporcionando información útil para mejorar la estabilidad, además de modificar las propiedades reológicas del sistema.

Por lo anterior, en este proyecto se pretende probar carrageninas comerciales, estandarizada y refinada, solas y en mezcla con hidrocoloides espesantes en la elaboración de una leche sabor chocolate, proponiendo alternativas de mezclas de hidrocoloides como aditivos alimenticios y determinando su efecto en las propiedades físicas y reológicas, con el fin de mejorar su estabilidad.

I. ANTECEDENTES

1.1 Leches saborizadas

Las bebidas lácteas de diferentes sabores para consumo directo son comunes en muchos países, ya que se comercializan con sabores como fresa, chocolate, vainilla, entre otros, con el objeto de hacer la ingesta de la leche más atractiva. Sus características nutricionales y sensoriales, así como su conveniencia, mayormente cuando se presentan en empaques individuales, favorecen su consumo en personas tanto jóvenes como adultas. Siendo las más populares las bebidas con chocolate (Yanes *et al.*, 2002a).

La leche con chocolate se define como un producto preparado con leche pasteurizada, normalizada en su contenido graso o con leche descremada; a la que se le ha añadido cacao en polvo y que debido a la elevada densidad de partículas suspendidas, una parte del cacao en polvo sedimenta en el fondo del envase, ya que sólo el 20-30% de las partículas de cacao son directamente solubles en la leche, por lo que es necesario agregar estabilizantes para mejorar la consistencia, así como prevenir dicha sedimentación de las partículas y otros problemas de inestabilidad (Spreer, 1991; Yanes *et al.*, 2002b).

Las características particulares de los diferentes ingredientes como el contenido de grasa de la leche, la alcalinidad y el color del polvo de cacao, el tipo y la concentración del hidocoloide, producen diferencias notables en la composición final, en las propiedades físicas y sensoriales específicas de los productos formulados como la leche saborizada.

Otros factores que pueden afectar el producto final son: el origen y el contenido de proteína en la leche, la composición y formulación del cacao, la exposición al calor durante la pasteurización, la temperatura y método de enfriamiento, así como el cizallamiento al que se somete en el equipo de proceso (Yanes *et al.*, 2002a; FMC BioPolymer, 2015).

1.1.1 Formulación

La leche sabor chocolate está formulada principalmente por leche fluida o en polvo, azúcar, cacao en polvo y algunos hidrocoloides para mejorar la consistencia y prevenir la sedimentación del cacao en polvo (Yanes *et al.*, 2002). En la formulación presentada por Yanes *et al.* (2002) se utiliza leche en polvo al 10%, carragenina tipo kappa entre 0.02% y 0.04%, 1.5% de cacao en polvo y 6% de azúcar.

En el Cuadro 1.1 se muestran las formulaciones recomendadas por los distribuidores de aditivos Gelymar (2015) y FMC BioPolymer (2015). En la formulación de Gelymar se utiliza una mezcla de leche fluida descremada y entera, mientras que la formulación de FMC Biopolymer emplea sólo leche fluida descremada.

Cuadro 1.1 Formulación de Gelymar y FMC BioPolymer.

	Gelymar	FMC BioPolymer
	(%)	
Leche descremada	52.70	89.895
Leche entera	39.77	-
Sacarosa	6.0	5.93
Agua	-	3.35
Cacao	1.5	0.8
Carragenina	0.025	0.025 - 0.04
TOTAL	100%	

Por otro lado se presentan los ingredientes reportados en diferentes leches comerciales sabor chocolate como:

La leche Hershey's contiene principalmente leche descremada rehidratada, azúcar, cocoa natural y alcalinizada, carragenina, goma guar, goma xantana, estevia, fosfato hidrogenado disódico, saborizantes artificiales, vitaminas y conservadores.

La leche Alpura contiene leche semidescremada rehidratada con 16 g/L de grasa butírica y 32 g/L de proteína propia de la leche, azúcar, cocoa, carragenina, fosfato hidrogenado disódico, saborizantes artificiales, acesulfame, vitaminas y conservadores.

La leche Nesquik contiene leche parcialmente descremada, azúcar, cocoa, celulosa microcristalina, carboximetilcelulosa, carragenina, acesulfame, saborizante artificial, vitaminas y conservadores.

La leche Borden contiene leche entera de vaca (33 g/L de grasa butírica y 30 g/L de proteína láctea), azúcar, fructosa, cocoa, saborizante artificial, carboximetilcelulosa, carragenina, estevia, fosfato disódico, vitaminas y conservadores.

Todas las leches comerciales antes mencionadas tienen en común el hidrocoloide carragenina. La leche Hershey's y la leche Nesquik contienen 2 hidrocoloides espesantes más (goma guar, goma xantana, celulosa microcristalina y carboximetilcelulosa), ambas utilizan leche descremada rehidratada.

En cuanto a la leche Borden sólo contiene un hidrocoloide espesante más, que es la carboximetilcelulosa, y utiliza leche entera. La leche Alpura sólo contiene carragenina y se utiliza leche semidescremada rehidratada.

Para el uso de cada uno de los ingredientes presentes en las leches saborizadas comerciales por lo general se recomienda un contenido específico, como se muestra en el Cuadro 1.2, que puede variar según sea el caso.

Cuadro 1.2 Características y contenido específico (máximo) de ingredientes en bebidas lácteas saborizadas (Silverson, 2015).

Ingredientes	%	Funcionalidad
Grasa de la leche	0 - 3.5	La grasa da textura y el chocolate funciona mejor en formulaciones con alto contenido de grasa.
Azúcar	4-6	Se utilizan varias mezclas de jarabes, azúcar y edulcorantes artificiales, aumenta la viscosidad y le dan cuerpo a los líquidos.
Saborizante	0.1	Se utilizan saborizantes naturales y artificiales y los más comunes son chocolate, vainilla, fresa y plátano.
Colorante	0.1	Pueden o no ser empleados, esto se determina según las condiciones del proceso y la legislación de cada país.
Espesante y estabilizante	0.1-0.3	Brindan consistencia y viscosidad, se utilizan en mezcla para obtener mejores propiedades (goma guar, carragenina, goma xantana, entre otras).
Emulsificante	0.2	Mantiene pequeños los glóbulos de grasa, reduce la posible separación de la misma y da textura.
Cacao	1	Brinda color y sabor. Se puede utilizar vainilla para potenciar el sabor.

1.2 Proceso de elaboración

El proceso de elaboración de la leche con chocolate es esquematizado en la Figura 1.1 y consiste en dispersar los hidrocoloides (carragenina, guar, carboximetilcelulosa) en agua a una temperatura de 25 °C agitando por cinco minutos. La leche en polvo se disuelve en agua a una concentración de sólidos del 10%, agitando a una temperatura de 25 °C por cinco minutos, se añade la disolución de hidrocoloides junto con azúcar y cacao en polvo en la leche rehidratada previamente y se lleva a una temperatura de calentamiento de 70-75 °C con agitación constante por tres minutos para la solubilización de la carragenina y se deja enfriar (Yanes *et al.*, 2002b).

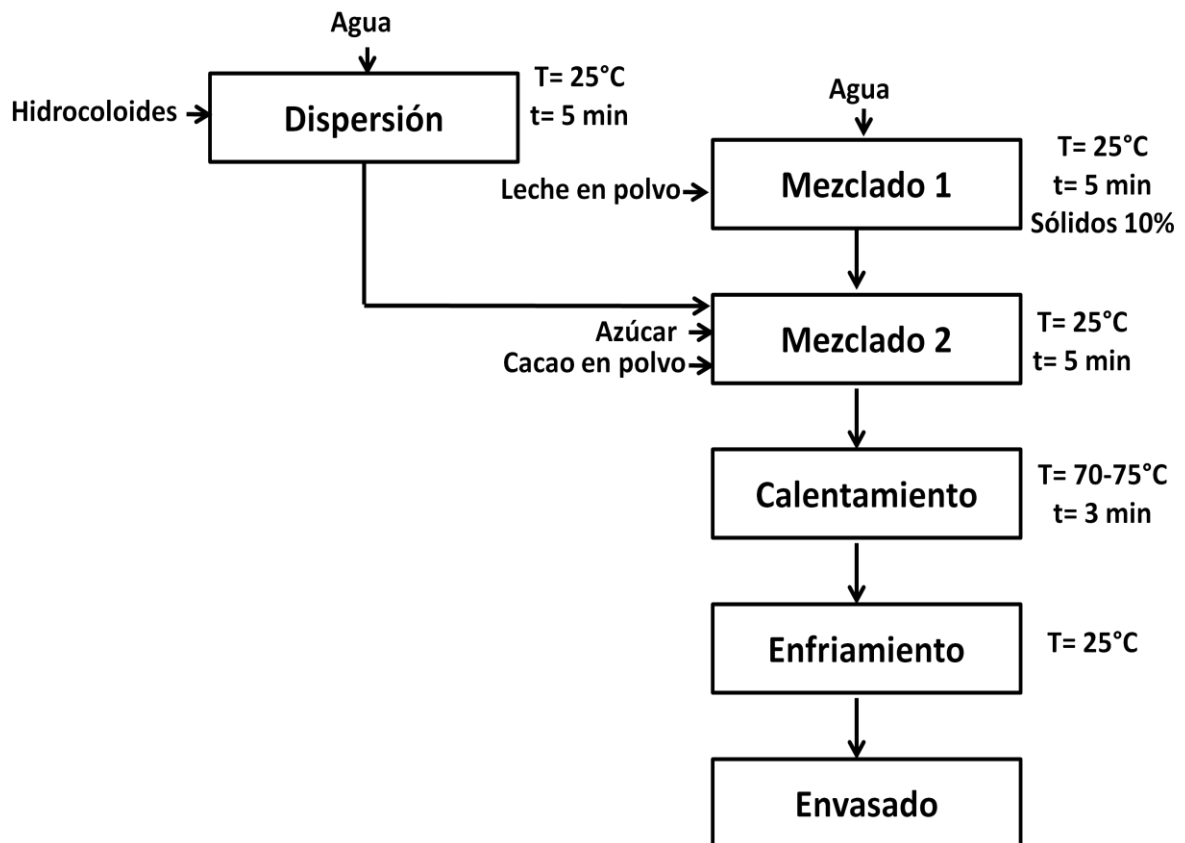


Figura 1.1 Diagrama de bloques para la elaboración de leche sabor chocolate (Yanes *et al.*, 2002b).

Otro de los procesos reportados para la elaboración de una bebida láctea saborizada consiste, en después de pesar los ingredientes líquidos se calientan para ayudar a la disolución/hidratación de los siguientes ingredientes, los ingredientes secos (leche en polvo, azúcar y cacao) se mezclan con los líquidos.

Los estabilizantes pueden premezclarse con los ingredientes secos para reducir la aglomeración y así ayudar a su incorporación al líquido o pueden ser añadidos en esta etapa. La mezcla se homogeniza, usualmente en un equipo de alta presión. Los pasos subsecuentes pueden variar según el tipo de producto que se desee, como congelación, pasteurización o esterilización (Silverson, 2015).

1.3 Funcionalidad de los ingredientes

1.3.1 Leche

La leche de vaca es el componente principal de la bebida láctea saborizada, su composición media es agua (88%), proteínas (3,1%), grasa (3,7%) e hidratos de carbono (lactosa en mayor proporción) (4,6%). También es fuente de importantes cantidades de vitaminas (vitamina A, D, B12, riboflavina y ácido fólico) y minerales (calcio, fósforo y zinc) (Badui, 1995). Las proteínas en la leche son de gran importancia en la elaboración de las leches sabor chocolate, siendo la caseína el componente principal y representa cerca del 80% de la proteína total, se presenta en forma de pequeñas partículas o micelas en suspensión que interaccionan directamente con la carragenina gracias a la formación de puentes de calcio y puentes de hidrógeno (Revilla, 1982; Gelymar, 2015).

La leche en polvo es la porción que queda de la leche (entera o descremada), después de haberle quitado cerca del 90-95% de su contenido de agua. La leche en polvo entera, obtenida principalmente por secado por aspersion de la leche fluida, tiene un contenido de materia grasa de 26 a 42% y 26% mínimo de proteínas, la leche en polvo parcialmente descremada o semidescremada contiene de 15 a 26% de materia grasa y 34% de proteínas de la leche. Por último la leche descremada tiene un contenido máximo de materia grasa de 15 y 34% de proteínas. Es un producto multi-funcional con enorme variedad de aplicaciones (Codex, 2011).

1.3.2 Cacao alcalinizado

El cacao en polvo se obtiene por el rompimiento de las habas de cacao, que se somete a un proceso de separación parcial de grasa, como se muestra en la Figura 1.2, es un polvo que tiene un tamaño de partícula entre 10 y 30 μm , un valor de pH de 5 a 7, así como un porcentaje de grasa del 10%. Una vez separado, se le añade azúcar en una proporción que puede llegar a ser del 65%. También se le pueden añadir pequeñas cantidades de vainilla, lectina u otros aditivos naturales (Spreer, 1991).

Los polvos alcalinizados de cacao, comúnmente llamados "holandeses" debido a la nacionalidad del creador del proceso de alcalinización, que consiste en tratar el polvo de cacao con álcalis (carbonato de sodio o carbonato de potasio) para neutralizar los ácidos. Este proceso disminuye el sabor amargo y se obtiene un cacao en polvo más soluble (agua o leche) que el cacao en polvo natural, lo que permite el desarrollo

de bebidas sabor chocolate, como las leches saborizadas (Pochteca, 2016).

El cacao alcalinizado tiene aplicación en las leches con chocolate por tener un sabor más suave, muy buena solubilidad, así como un pH alcalino debido a que los agentes estabilizadores trabajan mejor cerca del pH neutro. El cacao alcalinizado tiene una extensa gama de colores y de sabor que dependen del origen del grano, grado de fermentación, método de alcalinización, tipo de agente alcalinizante, contenido de grasa y de la fineza de partículas (Cargillfoods, 2016).

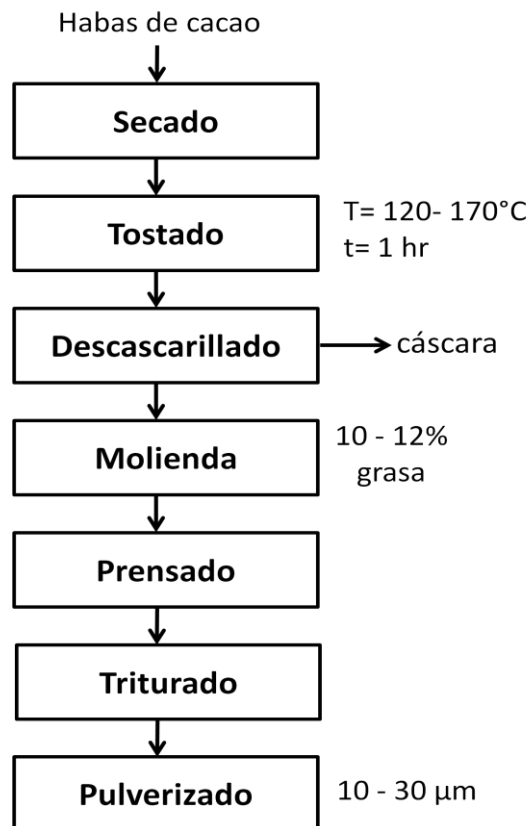


Figura 1.2 Diagrama de bloques para la obtención de cacao en polvo (Spreer, 1991).

1.3.3 Azúcar

El azúcar es un producto cristalizado obtenido de la caña de azúcar, o remolacha azucarera (constituido especialmente por sacarosa) que se somete a un proceso de extracción para separar los cristales de azúcar del jarabe y se utiliza para endulzar de forma natural. La calidad del azúcar va determinada en cada clase por la pureza, la forma y el color, el azúcar refinada es el azúcar más pura, obtenido por refinación y una nueva cristalización (Gil, 2010).

La adición de azúcar o edulcorantes artificiales (acesulfame, sucralosa, aspartame) que se agregan para proporcionar un sabor dulce sin el agregado de calorías, que es posible porque los componentes imitan la sacarosa en sus interacciones con los receptores del gusto, pero no se metabolizan, aumenta la viscosidad y le dan cuerpo a los líquidos, al igual que el azúcar. Esta misma propiedad es importante en las bebidas como leches saborizadas, bases para helados y otros productos alimenticios al proporcionar un sabor (Gil, 2010).

1.3.4 Hidrocoloides

Los hidrocoloides son diversos grupos de polímeros de cadena larga que fácilmente se dispersan, son completa o parcialmente solubles y son propensos a hincharse en agua. Se encuentran entre los ingredientes más utilizados en la industria alimentaria, ya que funcionan como espesantes, agentes gelificantes, estabilizadores, emulsificantes, entre otros, cambiando las propiedades físicas de la solución, debido a que los consumidores siempre han sentido la necesidad de alimentos con mejor textura, sabor y otras propiedades sensoriales (Li y Nie, 2015).

En el Cuadro 1.3 se muestran las alternativas y sinergismos de los hidrocoloides más comunes en la industria de alimentos.

Cuadro 1.3 Alternativas y sinergismo de los hidrocoloides más comunes (Li y Nie, 2015).

Hidrocoloide	Alterativas	Sinergismos
Agar	Gelana/alginate/grenetina	Ninguno conocido
Alginato	Carragenina/grenentina/gelana/agar/xantana	Pectina
Carragenina	Grenetina/gelana/agar/alginate/Xantana	Caseína/chitosan/goma garrofín
Chitosan	Pectina/xantana/goma garrofín/goma guar/almidones	Xantana
Dextrano	Goma arábica/xantana	Ninguno conocido
Gelana	Grenetina/agar/alginate/Carragenina	Goma arábica/grenetina
Goma arábica	Goma tragacanto/maltodextrinas/goma karaya	Ninguno conocido
Goma guar	Carragenina/goma tara/agar/goma garrofín/almidones/xantana/alginate/dextranos	Xantana/agar/Carragenina
Goma xantana	Agar/carragenina/goma guar/alginate/pectina	Goma guar/chitosan
Celulosa microcristalina	Xantana/polidextrosa	Ninguno conocido
Pectina	Alginatos/carragenina/chitosan/pectina/xantana	Proteínas

Carragenina

Las carrageninas son polisacáridos naturales que se extraen de ciertas variedades de algas rojas, son capaces de formar dispersiones coloidales viscosas o geles, en medio acuoso o lácteo. Químicamente las carrageninas son poligalactanos que son polímeros lineales de moléculas alternadas de D-galactosa y 3,6 anhidro galactosa unidas por

enlaces α -1,3 y β -1,4, las moléculas de galactosa poseen grupos sulfatos y/o piruvato, como se muestra en la Figura 1.3. El contenido y posición de los grupos sulfatos diferencia los cuatro tipos de carrageninas de importancia comercial: kappa (I y II) tiene un grupo sulfato, iota tiene dos y lambda tiene tres (Langendorff *et al.*, 2000). Estas pequeñas variaciones en la composición química, generan las diferencias en su funcionalidad. Sin embargo, todas ellas comparten algunas características generales (Gelymar, 2015; Nuñez-Santiago *et al.*, 2007).

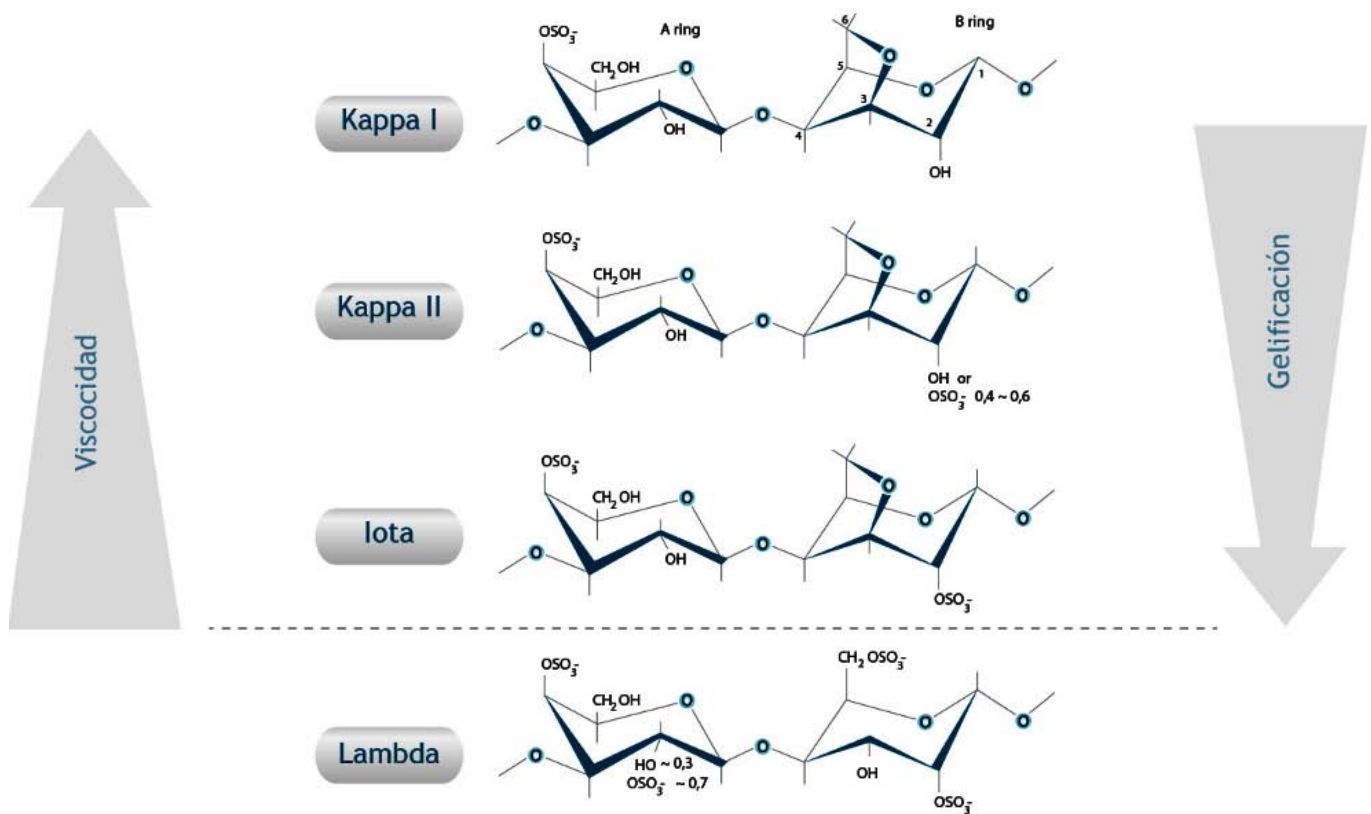


Figura 1.3 Estructura química de los diferentes tipos de carragenina (k-carragenina I y II, ι -carragenina y λ -carragenina) (Gelymar, 2015).

Las carrageninas son solamente solubles en disolventes muy polares; genera disoluciones viscosas, cuya viscosidad depende de la

concentración, temperatura, presencia de otros solutos, pH, tipo y peso molecular de las fracciones de carragenina. Todas las carrageninas son solubles en agua a temperaturas superiores de 70 °C como se muestra en la Figura 1.4, en agua fría solo son solubles λ - carragenina y las sales de sodio de κ e ι carragenina, las sales de calcio y potasio de estas carrageninas no se disuelven completamente en frío pero presentan cierto grado de hidratación (Gelymar, 2015; Stanley, 1990).

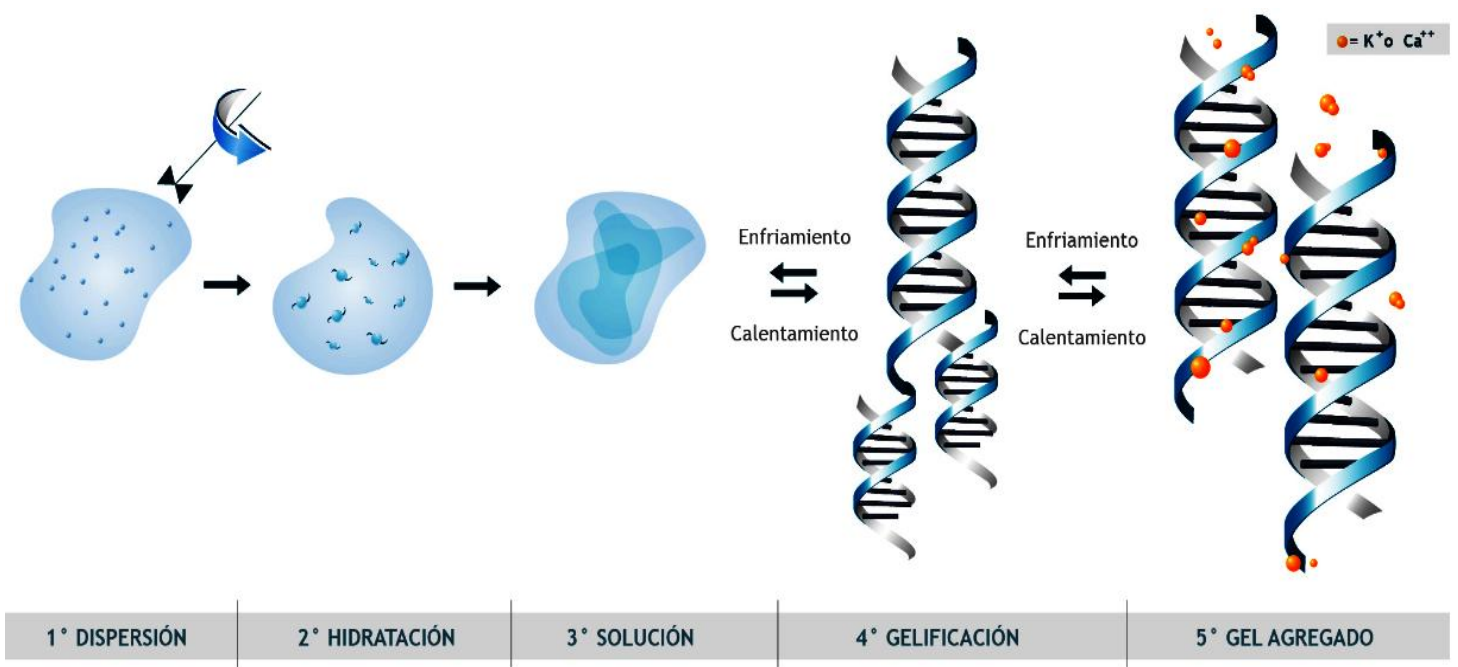


Figura 1.4 Solubilización y gelificación de las carrageninas (Gelymar, 2015).

Las disoluciones de carragenina exhiben flujo fluidificante con la cizalla, datos experimentales han corroborado el comportamiento reológico de disoluciones de carragenina, reportando que la viscosidad se incrementa con la concentración y peso molecular de las fracciones de carragenina y

disminuye al aumentar la temperatura de la solución (Stanley, 1990; Therkelsen, 1983).

En muchas aplicaciones alimenticias se hace uso de mezclas de hidrocoloides para obtener características diferentes a las generadas con un solo hidrocoloide; en el caso de las carrageninas es frecuente mezclar κ e ι carragenina para impartir estabilidad. No sólo se pueden hacer mezclas de carrageninas entre ellas, algunas se mezclan con otro hidrocoloide como goma guar, goma xantana, carboximetilcelulosa y caseínas (Stanley,1990).

La mezcla carragenina-caseína brinda propiedades útiles en productos lácteos como las leches saborizadas, previniendo exitosamente la separación y manteniendo la textura en productos lácteos cuando se agrega en pequeñas cantidades alrededor de 0.03%, también mejoran la apariencia mediante la interacción con otras sustancia en el alimento como son proteínas, almidones, fosfatos de calcio, fosfatos de sodio, goma guar y carboximetilcelulosa (McHugh, 2003; Prajapati *et al.*, 2004).

La carragenina interacciona directamente con las proteínas de la leche formando micelas, ya que la leche fresca tiene aproximadamente 3.3% de proteína de la cual el 2.6% se encuentra en forma de caseínas (alfa, beta y kappa) y 0.65% de componentes minerales como el calcio y el sodio (Langendorff *et al.*, 2000). El punto isoeléctrico de las caseínas es de 4.7 y la interacción es dependiente del pH, pues la κ -caseína por arriba de su punto isoeléctrico presenta carga eléctrica negativa y por debajo carga eléctrica positiva. Por tanto, es posible que a pH neutro la

interacción se dé gracias a la formación de puentes de calcio. Además de lo anterior es posible la formación de puentes de hidrógeno, como se muestra en la Figura 1.5 (Gelymar, 2015).

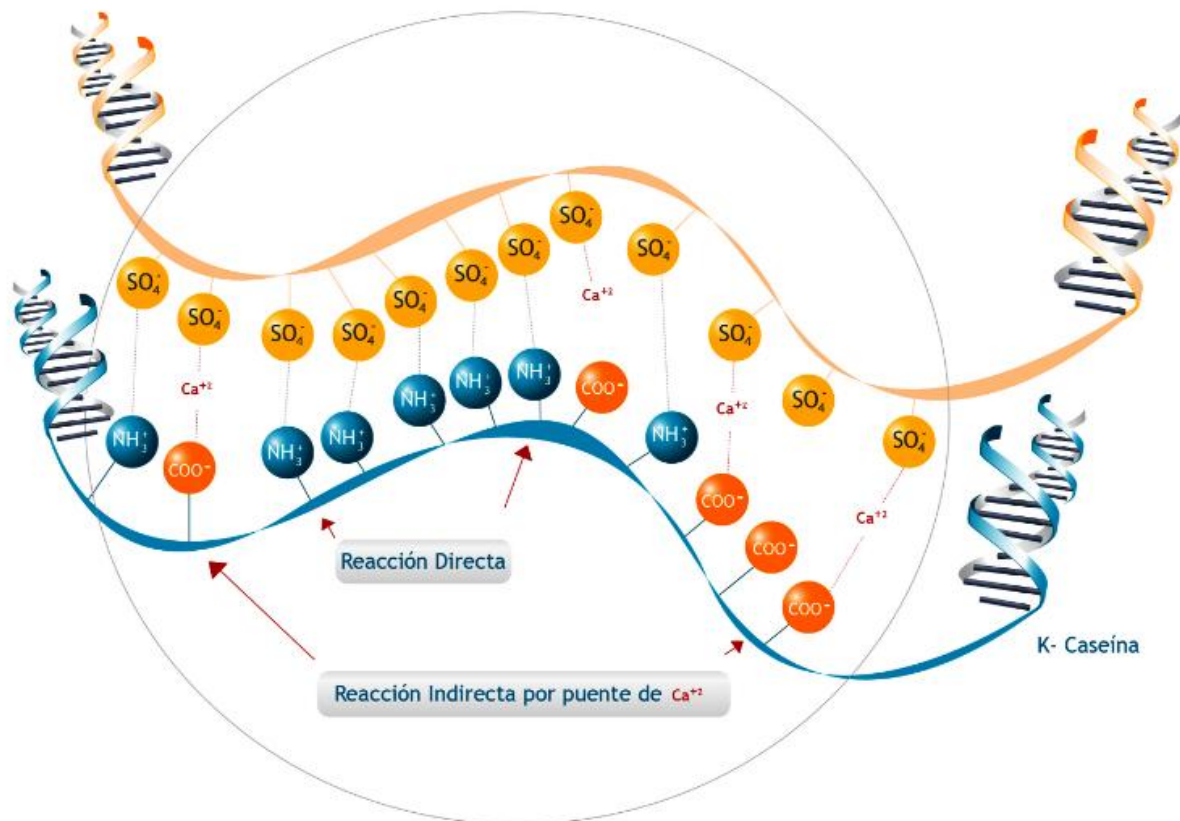


Figura 1.5 Interacción carragenina - proteína (Gelymar, 2015).

Goma Guar

La goma guar es un polisacárido natural de alto peso molecular que se obtiene del endospermo de la semilla del *Cyamopsis tetragonolobus*, planta que pertenece a la familia de las leguminosas. Químicamente es un galactomanano formado por monómeros de manosa y galactosa. Su estructura se muestra en la Figura 1.6.

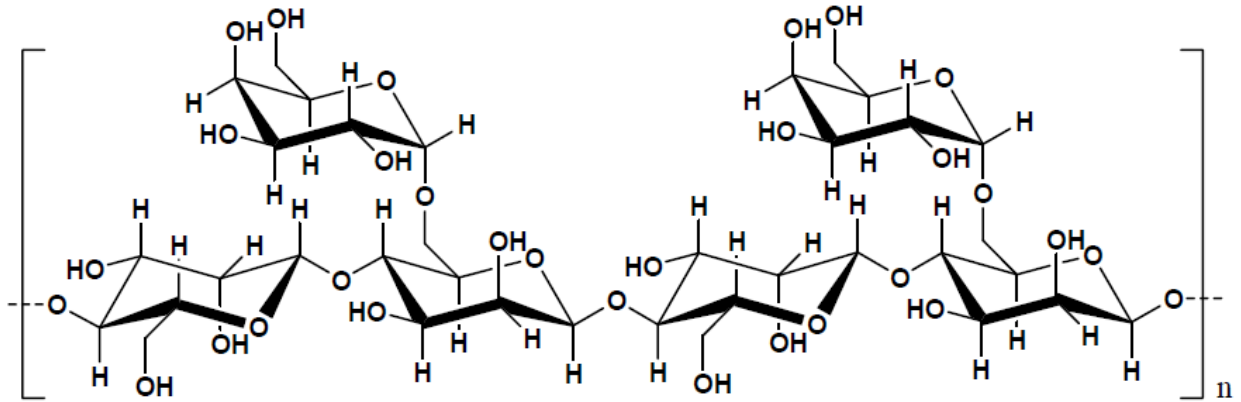


Figura 1.6 Estructura química de la goma guar (Ospina *et al.*, 2012).

La goma guar exhibe gran capacidad fluidificante, característica importante en la estabilización de suspensiones. Por su alta afinidad con el agua, brinda viscosidades altas en sistemas acuosos o lácteos, incluso en dosis bajas y es usada principalmente como agente espesante, es soluble en agua o leche y tiene una alta estabilidad al pH ácido, siendo su intervalo óptimo entre 4 y 10.5. La viscosidad depende de factores tales como pH, temperatura, tiempo de agitación y tamaño de partícula. Las mezclas de goma guar y caseínas pueden originar una separación de fases si se excede una concentración de 0.6% (Kawamura, 2008; Ospina *et al.*, 2012; Tuiner *et al.*, 2000).

La goma guar actúa sinérgicamente con las carrageninas produciendo un incremento notable de viscosidad, aunque al tener una naturaleza no iónica y es compatible con prácticamente todos los hidrocoloides, incluyendo almidones, goma xantana y agar (Gelymar, 2015; Li y Nie, 2015).

Carboximetilcelulosa

La carboximetilcelulosa (CMC) es un polímero lineal, aniónico y soluble en agua que se obtiene químicamente de la celulosa. Su estructura se muestra en la Figura 1.7.

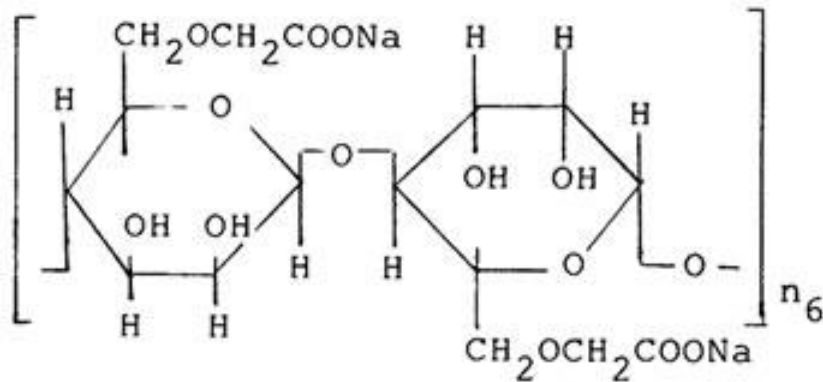


Figura 1.7 Estructura química de la carboximetilcelulosa (Heinze y Pfeiffer, 1999).

La CMC puede agregarse como polvo o, de preferencia, previamente disuelta y la concentración conveniente es de 0.15 a 0.2%; muchas veces se aplica en mezcla con carragenina y grenetina. La CMC es ampliamente usada como estabilizante y espesante en la industria de alimentos, porque no tiene sabor ni olor y produce soluciones claras sin opacidad. Se disuelve rápido en sistemas acuosos tanto calientes como fríos, mejorando la textura de muchos alimentos (Heinze y Pfeiffer, 1999).

La CMC puede agregarse como polvo o, de preferencia, previamente disuelta; muchas veces se aplica en mezcla con carragenina y grenetina ya que tiene sinergismo con estos hidrocoloides. Cuando la CMC actúa

con las proteínas de la leche puede originar una separación de fases causando efecto en las propiedades reológicas, texturales y en la estabilidad, esto depende de varios parámetros como pH (un pH óptimo de 7-9), contenido de azúcar, tipo de proteína láctea, temperatura, entre otras. Un calentamiento prolongado a altas temperaturas produce pérdidas irreversibles de viscosidad por despolimerización de la CMC (Bayarri *et al.*, 2009).

1.4 Propiedades de la leche con chocolate

La leche, al igual que todos sus derivados, presentan ciertas propiedades fisicoquímicas particulares que son reflejo de la composición y de las interacciones de sus constituyentes; el color y la viscosidad son dos factores que el consumidor inmediatamente puede evaluar, pero es importante conocer otras características como el pH y la densidad (Badui, 1995).

En relación con la viscosidad, y a pesar de contener de 12 a 14% de sólidos la leche se comporta prácticamente como un fluido newtoniano semejante al agua, con una viscosidad aproximadamente de 2×10^{-3} Pa·s. Tanto las micelas de caseína como los glóbulos de grasa son los principales responsables de la viscosidad de los productos lácteos por lo que la leche descremada presenta una viscosidad menor (1.5×10^{-3} Pa·s). El pH normal de la leche se encuentra entre 6.5 y 6.7, en cuanto a la densidad, dependiendo del sistema puede variar de 1100 a 1200 kg/m³ (Badui, 1995).

Para la leche con chocolate, los valores de pH se encuentran entre 6.71 y 7.35. En cuanto a la viscosidad, las leches comerciales analizadas en estudios anteriores, los valores varían entre 2.7×10^{-3} y 1.6×10^{-2} Pa·s. Esto se debe al tipo de leche e hidrocoloide presentes en la formulación (Yanes *et al.*, 2002a).

1.5 Reología

Las propiedades de flujo de un fluido están relacionadas con su estructura interna. A nivel molecular (microscópico) hay diferencias importantes entre los fluidos compuestos por moléculas pequeñas, y los fluidos que contienen proteínas o almidones. Diversas características de la arquitectura macromolecular influyen y determinan sus propiedades de flujo, entre ellas la primera, el gran peso molecular de las moléculas que los componen. En segundo término debe señalarse que rara vez los monómeros que componen las macromoléculas tienen el mismo peso molecular, más bien son mezclas de tienen una distribución de pesos moleculares (Aguilera y Stanley, 1999).

El hecho es importante, pues se observa que las propiedades reológicas son muy sensibles a esta diversidad de pesos moleculares. Otra característica esencial es que aún sin fluir, las moléculas poliméricas pueden adoptar un número enorme de configuraciones, y como el flujo las altera estirando o alineando las moléculas, los cambios de configuración a su vez influyen en las propiedades de flujo (Aguilera y Stanley, 1999).

En la Figura 1.8 se muestra la relación entre la viscosidad y la velocidad de cizalla, en ésta se trata de ejemplificar lo que está pasando con la estructura interna en relación con el cambio de viscosidad. En la gráfica existen tres diferentes zonas, limitadas por dos velocidades de cizalla críticas.

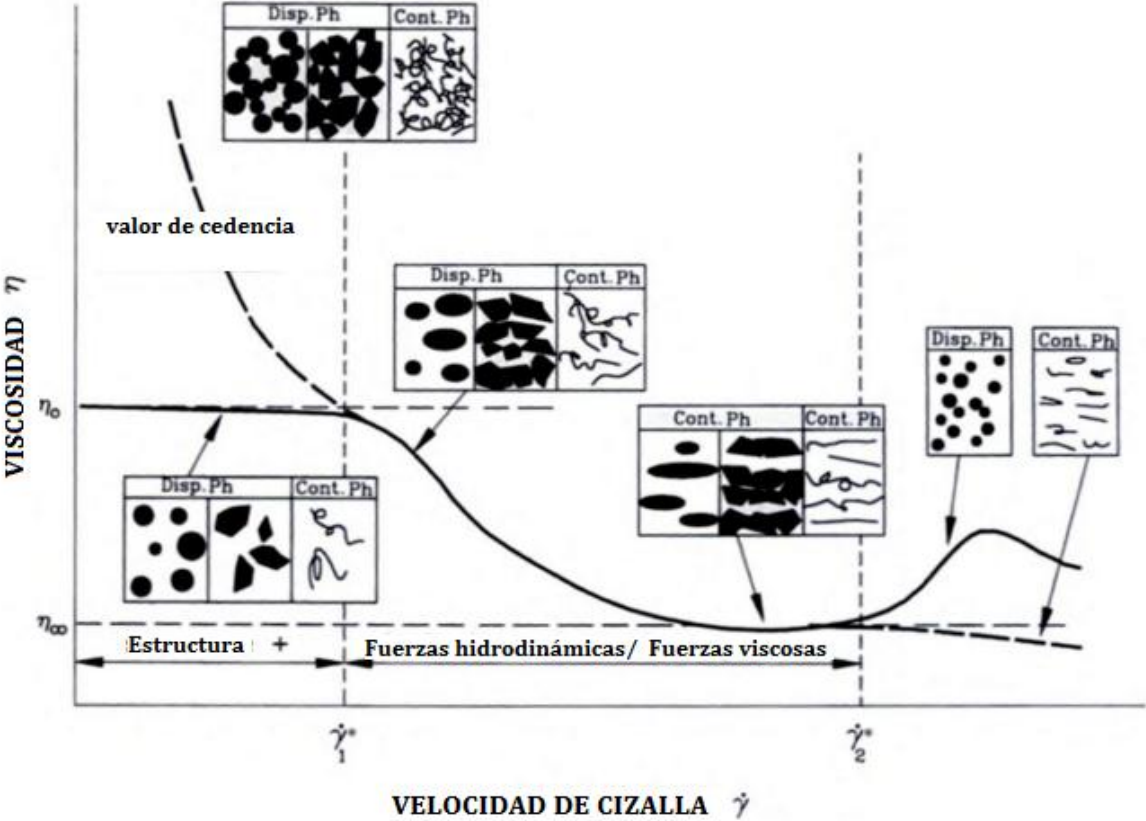


Figura 1.8 Comportamiento reológico y relación estructural de una suspensión compleja, (Disp. Ph: Fase dispersa y Cont. Ph: Fase continua) (Windhab, 1995).

Cuando la concentración de macromoléculas en la fase continua es alta, las moléculas forman redes enmarañadas cuya configuración cambia con el tiempo y con las condiciones de flujo. Para el caso en que la fase

dispersa presenta una concentración alta, las partículas interaccionan de tal forma que, dependiendo del tipo e intensidad de las interacciones que se generan entre ellas, se puede propiciar la formación de agregados. Estas fuerzas de interacción, ya sea de las partículas en la fase dispersa o de las macromoléculas en la fase continua, genera un valor de fluencia (σ_0). Lo que significa que se debe aplicar una fuerza crítica antes de que el movimiento comience (Windhab, 1995).

Varias expresiones matemáticas han sido propuestas en la literatura para modelar fluidos no newtonianos (exhiben flujo uniforme pero la viscosidad del fluido no permanece constante). Alguno de ellos tienen bases teóricas, mientras otros son ajustes de curvas que brindan relaciones empíricas para las curvas de esfuerzo de cizalla o viscosidad en función de la velocidad de cizalla (Bird *et al.*, 1987; Carreau *et al.*, 1997). En el Cuadro 1.4 se muestran algunos modelos para la caracterización reológica.

Cuadro 1.4 Modelos matemáticos de ajuste para diferentes comportamientos reológicos en materiales fluidos (Lapasin y Prici, 1995).

Modelo	Ecuación
Ostwald-de Waele	$\sigma = k \dot{\gamma}^n$
Bingham	$\sigma = \sigma_0 + \eta_{\text{plas}} \dot{\gamma}$
Herschel-Bulkley	$\sigma = \sigma_0 + k \dot{\gamma}$
Carreau	$\eta = \eta_{\infty} + \frac{(\eta_0 - \eta_{\infty})}{[1 + (\lambda \dot{\gamma})^2]^m}$
Cross	$\eta = \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{1 + \lambda \dot{\gamma}^m}$

En el modelo de Ostwald-de Waele o Ley de la potencia, k , es el índice de consistencia ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) y n es el índice de comportamiento al flujo. Si $n < 1$ el material es fluidificante, y la viscosidad de mismo disminuye con el aumento de velocidad de cizalla. En cambio, si $n > 1$ el fluido es espesante y su viscosidad aumenta al aumentar la velocidad de cizalla.

Para el modelo de Bingham, η_{plas} representa la viscosidad plástica y σ_0 es un esfuerzo de cizalla inicial para empezar a fluir denominado esfuerzo de cedencia, una vez que el fluido comienza a fluir se comporta como un fluido newtoniano. De igual manera, el modelo de Herschel-Bulkley, presenta un esfuerzo de cedencia, σ_0 , por debajo de este esfuerzo se comporta como un sólido y una vez iniciado el flujo presenta un comportamiento tipo potencia (Steffe, 1996; Lapasin y Pricl, 1995).

Por su parte, los modelos de Carreau y de Cross se utilizan para representar a un fluido estructural que se comporta de forma fluidificante a velocidades de cizalla intermedias, y de manera newtoniana a bajas y altas velocidades de cizalla. En ambos modelos η_0 y η_∞ representan la viscosidad a la velocidad de cizallamiento cero e infinito respectivamente, sin embargo, cuando $\eta \ll \eta_0$ y $\eta \gg \eta_\infty$ se obtiene el modelo de Ostwald-de Waele a partir de una serie de simplificaciones. Por su parte, λ es una constante de tiempo asociada con la ruptura de las interacciones moleculares consecuencia de la aplicación de cizalla y m es una constante de velocidad de cizallamiento en la región fluidificante. Si el valor de m tiende a cero describe fluidos newtonianos, en cambio si m que tiene a la unidad el material es fluidificante (Lapasin y Pricl, 1995; Cross, 1964).

Para el modelo de Carreau $\frac{\eta(\dot{\gamma})}{\eta_0} = \frac{1}{(1+(a\cdot\dot{\gamma})^2)^p}$ y Carreau-Gahleitner $\frac{\eta(\dot{\gamma})-\eta_\infty}{\eta_0-\eta_\infty} = \frac{1}{(1+(a\cdot\dot{\gamma})^b)^p}$ donde a es la constante de tiempo del modelo de Carreau (t_c), $p = (1 - n)/2$ y $b = 2$ son los exponentes de Carreau y Gahleitner respectivamente en donde n en el exponente de p corresponde al índice de comportamiento al flujo.

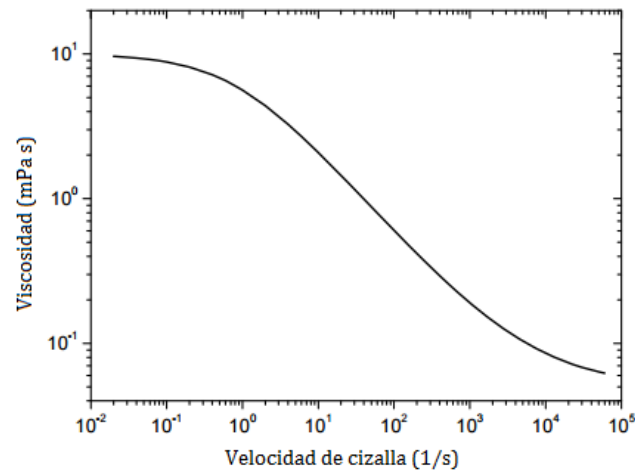


Figura 1.9 Representación gráfica del modelo de Carreau (Lapasin y Priel, 1995).

1.6 Estabilidad

La estabilidad en contra de la separación de fases o la sedimentación de partículas en productos alimenticios es un aspecto muy importante en el estudio de las propiedades en dispersiones alimenticias. Como ya se mencionó, los polisacáridos como la carragenina han sido utilizados como agentes espesantes y estabilizantes en productos tales como la leche con chocolate (Van Den Boomgaard *et al.*, 1987).

Prevenir la inestabilidad física de la leche con chocolate es un reto tanto tecnológico como científico. En la producción industrial existen tres tipos

importantes de inestabilidad: la sedimentación de las partículas de cacao, formando una capa densa en el fondo, la formación de glóbulos grandes de grasa y la formación de capas de color conocido como segregación (Van Den Boomgaard *et al.*, 1987).

La inhibición de la formación de agregados de partículas de cacao puede ser prevenida ajustando la concentración de los estabilizantes presentes en la formulación, por otra parte la segregación generalmente sucede en la leche con chocolate elaborada con leche descremada, y da como resultado una subcapa café oscura con un sabor fuerte y una capa superior de color claro con poco sabor. La sedimentación es normalmente considerada como reversible, mientras que la formación de glóbulos de grasa o agregados de partículas es irreversible, desestabilizando completamente el sistema, por esta razón es importante detectar estos problemas en la etapa inicial para mejorar las formulaciones (Van Den Boomgaard *et al.*, 1987; Mengual *et al.*, 1999).

Existen dos estrategias que están relacionadas con la estabilidad, la primera consiste en medir el potencial zeta de la superficie de las partículas para predecir la estabilidad de la dispersión, este método es efectivo para preparaciones relativamente simples, por lo tanto no es adecuado para formulaciones complejas. La segunda es conocida como pruebas de envejecimiento que son las más comunes en la industria alimentaria. Los productos son almacenados bajo ciertas condiciones (temperatura, luz y tiempo) y son sometidos a un análisis regular. El propósito de este análisis es acelerar el proceso de inestabilidad (Mengual *et al.*, 1999).

II. METODOLOGÍA

2.1 Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de dos carrageninas comerciales y mezclas de carragenina-hidrocoloide espesante (carboximetilcelulosa y goma guar) en el desarrollo de una base para leches saborizadas, mediante pruebas de densidad, pH, comportamiento al flujo, tamaño de partícula y estabilidad, proporcionando alternativas de mezclas de hidrocoloides.

Objetivos particulares

1. Determinar el efecto de dos diferentes carrageninas comerciales (estandarizada o refinada) solas y en mezcla con carboximetilcelulosa o goma guar, sobre las propiedades (densidad, pH, reología, tamaño de partícula y estabilidad) de una base para leche saborizada (leche entera o semidescremada) seleccionando el producto más estable.
2. Analizar el efecto del cacao en polvo sobre las propiedades de una leche saborizada (densidad, pH, reológicas, tamaño de partícula y estabilidad) con carrageninas (estandarizada o refinada) solas y en mezcla con carboximetilcelulosa y goma guar seleccionando las concentraciones de polisacárido que proporcionen un producto estable.

2.2 Materiales

Para la elaboración de la base para leche saborizada se utilizó leche en polvo entera (Alpura clásica, lote BH02 19AGO2016 5:34, México) con un contenido de 26 g/L de grasa butírica y proteína; leche en polvo semidescremada (Kosland, lote L5225BE4, México) con 13 g/L de grasa butírica y 34 g/L de proteína, ambas leches contienen lecitina de soya, vitaminas y minerales.

Como hidrocoloides se emplearon carragenina kappa II estandarizada (Gelymar Carralact DCM 5298, lote 248, Chile) y carragenina kappa II refinada (Gelymar Carralact DGU 5419, lote 27, Chile) como estabilizantes. Goma guar (Gelyguar 7012, lote 12, Chile) y carboximetilcelulosa (Cp Kelco Cekol 700, sin lote, EUA) como espesantes y azúcar refinada (Golden hills, lote CO41305, México) para endulzar. Por último, para el desarrollo de la leche sabor chocolate se le agregó cacao en polvo alcalino (Cargill Foods Pó Alcalino AL70, sin lote, EUA). Los productos que se utilizaron como referencia fueron leches comerciales sabor chocolate (Alpura, México; Hershey's, México).

2.3 Actividades preliminares

Se determinó la humedad de cada uno de los ingredientes en polvo de la formulación en una termobalanza marca Ohaus (MB45, EUA) que funciona sobre la base del principio termogravimétrico. Al comienzo de la medida, el analizador de humedad determina el peso de la muestra, a continuación, la muestra se calienta rápidamente por medio de la unidad halógena desecadora y la humedad se evapora. Durante la operación de desecación, el equipo determina continuamente el peso de la muestra y

presenta el resultado. Cuando la desecación termina, el resultado se muestra como porcentaje del contenido de humedad, se realizaron cuatro repeticiones y se calcularon las medidas de tendencia central (media, desviación estándar y coeficiente de variación).

Posteriormente, con los resultados obtenidos se realizó un balance de materia para determinar el porcentaje en peso real (%) que se utilizó en la experimentación.

Para la elección de hidrocoloides espesantes se realizó una caracterización reológica (propiedades de flujo) de los hidrocoloides espesantes (carboximetilcelulosa alto y bajo peso molecular, goma guar y goma xantana) al 0.1% en disolución acuosa a 25 °C en un reómetro Anton Paar Physica (MCR-301, Austria) con un sistema de medida de cono (75 mm de diámetro y un ángulo de 1°, CP75-1), en donde se estableció una velocidad de cizalla de 1 a 500 s⁻¹ y de 500 a 1 s⁻¹ con 25 puntos y 10 s por punto para realizar un gráfico de viscosidad en función de la velocidad de cizalla, con el fin de comparar su comportamiento con la disolución acuosa de carragenina. A continuación, se estableció el intervalo de la concentración de los hidrocoloides seleccionados recomendada por el distribuidor para disolverlos en leche en polvo.

Se realizaron las disoluciones de los hidrocoloides seleccionados en leche en polvo rehidratada (10%) y se les determinó la viscosidad (propiedades de flujo) para compararla con la de la leche saborizada comercial y así poder establecer la concentración que más se acercara al comportamiento del producto comercial. Posteriormente se determinó

el pH, densidad y se analizó la distribución del tamaño de partícula de la materia prima (leches de estudio y suspensiones de caca) para control del producto final y como referencia con las formulaciones de la base para leche saborizada y leche sabor chocolate.

2.4 Formulación

En función de la revisión bibliográfica y de las pruebas preliminares se propusieron dos formulaciones para el desarrollo de una base para leche saborizada (Cuadro 2.1) en las que se incluyeron carrageninas solas (kappa II estandarizada o kappa II refinada) y en mezcla con hidrocolooides espesantes (carboximetilcelulosa o goma guar), así como para el desarrollo de la leche sabor chocolate, como se muestra en el Cuadro 2.2, añadiendo cacao en polvo alcalino a las formulaciones para la base de leche saborizada.

Cuadro 2.1. Formulaciones para la base de leche saborizada con carragenina sola y en mezcla con hidrocoloide espesante.

	%	%
Leche en polvo	10.00	10.00
Carragenina	0.03	0.015
Hidrocoloide espesante	-	0.015
Azúcar	6.00	6.00
Agua	83.97	83.97
TOTAL	100	100

Cuadro 2.2 Formulaciones para la leche sabor chocolate con carragenina sola y en mezcla con hidrocoloide espesante.

	%	%
Leche en polvo	10.00	10.00
Carragenina	0.03	0.015
Hidrocoloide espesante	-	0.015
Cacao en polvo	0.8	0.8
Azúcar	6.00	6.00
Agua	83.17	83.17
TOTAL	100	100

2.5 Métodos

Preparación de la base para leche saborizada y leche sabor chocolate

Para la preparación de la muestra se hidrataron por separado los hidrocoloides a 25 °C, mientras se mezcló el resto de agua con la leche en polvo con un agitador magnético marca Cimarec (SP131325) a una velocidad de 570 rpm, al terminar la dispersión del polvo de leche, se añadieron los hidrocoloides hidratados y el azúcar (para las formulaciones de leche sabor chocolate se añadió también el cacao en polvo), se calentó a una temperatura de 65 °C y se homogeneizó (Silverson L4R, UK) a un velocidad de 2000 rpm por 2 minutos.

Al finalizar el tiempo de homogeneización se llevó de nuevo al agitador magnético hasta alcanzar una temperatura de 80 °C por un minuto para hidratar y pasteurizar la leche, posteriormente se enfrió con agitación constante hasta llegar a una temperatura de 25°C.

2.5.1 Comportamiento al flujo

El análisis del comportamiento al flujo se realizó en un reómetro Anton Paar Physica (MCR-301, Austria) con un sistema de medida de cono (75 mm de diámetro y un ángulo de 1° , CP75-1), en donde se estableció una velocidad de cizalla de 10 a 1000 s^{-1} y de 1000 a 10 s^{-1} con 25 puntos y 10 s por punto. Con el fin de conocer el comportamiento al flujo del producto. Se realizaron gráficos de esfuerzo de cizalla y viscosidad en función de la velocidad de cizalla, posteriormente se ajustó a un modelo reológico. La prueba se realizó por triplicado y se calcularon las medidas de tendencia central (media, desviación estándar y coeficiente de variación).

El principio básico de medida del reómetro consiste en la transferencia de cantidad de movimiento desde el cono que rota hacia la placa en el que está contenida la muestra. Se mide el torque del motor requerido para mover el cono y se transforma en esfuerzo de cizalla (multiplicada por una constante) y la velocidad de rotación se transforma en velocidad de cizalla con la constante de proporcionalidad respectiva, que también depende de las dimensiones del cono que rota utilizado. La viscosidad (medida de la resistencia a transferir cantidad de movimiento) se calcula a través del cociente del esfuerzo de cizalla entre la velocidad de cizalla. Las curvas de flujo o viscosidad, se elaboran trazando un gráfico del esfuerzo de cizalla o de la viscosidad en función de la velocidad de cizalla y se ajustan al modelo que mejor describa su comportamiento (Martínez-Padilla, 2012).

2.5.2 Densidad

La densidad se determinó en un densímetro digital Anton Paar (DMA-500, Austria) a una temperatura de 25 °C por triplicado. Se calcularon las medidas de tendencia central (media, desviación estándar y coeficiente de variación) de los datos obtenidos en las leches de estudio (referencia) y de todas las muestras (base para leche saborizada y leche con chocolate).

El principio básico de medida del densímetro es un tubo en forma de U excitado electrónicamente mediante oscilación armónica. El periodo oscilante depende de la densidad de la muestra en el interior del tubo. Por lo que la medida del periodo de oscilación, la densidad y todos los valores relativos a la densidad son calculados automáticamente (Anton Paar, 2016).

2.5.3 pH

La medición del pH se realizó en un medidor portátil (WP pH Testr 3 DJ, EUA) a una temperatura de 25 °C por triplicado. Se calcularon las medidas de tendencia (media, desviación estándar y coeficiente de variación) a los datos obtenidos como referencia (leche, agua y cacao) y a todas las muestras (base para leche saborizada y leche con chocolate).

El principio de medición del medidor de pH está basado en la concentración de los iones H^+ u OH^- en el agua, que determinan la alcalinidad, acidez, o neutralidad de las soluciones acuosas. Mientras más grande es la concentración de iones de hidrógeno, más bajo es el

pH de una solución. Los iones de hidrógeno se encuentran también en soluciones alcalinas, pero en concentraciones más bajas; lo cierto es que todas las soluciones ácidas contienen algunos iones de oxidrilo y todas las soluciones alcalinas contienen algunos iones de hidrógeno (Oakton, 2015).

2.5.4 Estabilidad por transmisión y retrodispersión de luz

El análisis de estabilidad se realizó en un Turbiscan (MA2000 Formulacion, Francia) utilizando muestras de 6 ml por tubo aproximadamente, por medio de escaneo el detector de transmisión recibe la luz que atraviesa la muestra mientras que el detector de retrodispersión recibe la luz de dispersión, posteriormente se obtienen curvas de transmisión y retrodispersión de luz en función de la altura del tubo en el software "Turbisoft" como se muestra en la Figura 2.1. En esta prueba se llevaron a cabo mediciones en las muestras (base para leche saborizada y leche con chocolate) cada 10 min hasta completar 10 de estas y posteriormente se verificaron de 3 a 5 días, a temperatura ambiente (25 °C) para poder observar la estabilidad del producto conforme transcurre el tiempo, se hicieron tres réplicas por formulación.

Se obtuvieron las cinéticas de valores medio para calcular las velocidades de la disminución de la retrodispersión de luz (centro el tubo) en función del incremento de tamaño. Para calcular la velocidad de formación de la zona de clarificado (parte superior del tubo) se obtuvieron las cinéticas de espesor absoluto (ambas cinéticas se ajustaron a un modelo (lineal)) (Mengual, *et al.*, 1999).

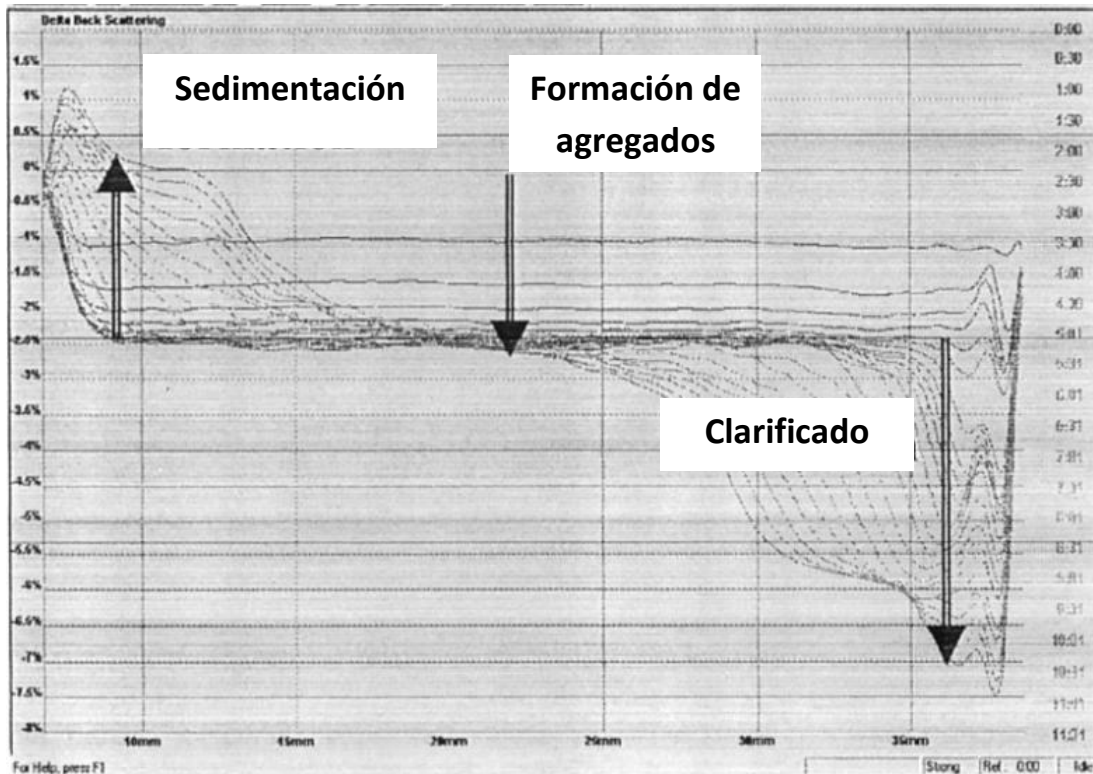


Figura 2.1 Ejemplo del gráfico de retrodispersión de luz a través de la muestra (Mengual *et al.*, 1999).

2.5.5 Tamaño de partícula

El análisis del tamaño de partícula se realizó en un granulómetro Cilas (930, Francia) donde se verificó el porcentaje de obscuración (8 - 15 %) y se controló la aplicación de ultrasonido, obteniendo la distribución del tamaño y el diámetro medio de las partículas. Se realizaron gráficas de densidad de población en función del diámetro y se obtuvieron los datos de moda para cada población. La prueba se realizó por triplicado y se calcularon medidas de tendencia central (media, desviación estándar y coeficiente de variación) para los datos de moda obtenidos en los materiales de referencia (leche y cacao en agua/leche) y en todas las muestras (base para leche saborizada y leche con chocolate).

La técnica de difracción láser está basada en el fenómeno en el que las partículas dispersan luz en todas las direcciones con un patrón de intensidad, que es dependiente del tamaño de partícula. El granulómetro puede medir partículas con tamaño entre 0.2 y 500 μm y puede llevarse a cabo en dispersiones líquidas como suspensiones o emulsiones o en partículas secas (polvo). El tratamiento ultrasónico se aplica para agitar las partículas de una muestra y de este modo dispersarlas uniformemente en los líquidos (Cilas, 2015).

III. RESULTADOS

3.1 Comportamiento al flujo en hidrocoloides

Para la elección de los hidrocoloides se realizó la caracterización reológica de las disoluciones acuosas de los hidrocoloides espesantes propuestos, en las Figuras 3.1 a y b se muestra el comportamiento al flujo de disoluciones de la carragenina (como referencia), goma xantana, goma guar, carboximetilcelulosa de alto y bajo peso molecular, hidrocoloides seleccionados para utilizarse en mezcla con las carrageninas (estandarizada y refinada). En la Figura 3.1a se puede observar un comportamiento característico de un material fluidificante que pudiera ajustarse al modelo de la potencia ($\sigma = k\dot{\gamma}^n$, donde k es el índice de consistencia ($Pa \cdot s^n$) y n es el índice de comportamiento al flujo), ya que se presenta una relación lineal en escala logarítmica del esfuerzo de cizalla con la velocidad de cizalla.

Sin embargo, considerando la Figura 3.1a se puede apreciar un cambio de pendiente en la goma xantana y en la carboximetilcelulosa de alto peso molecular, mientras que en la Figura 3.1b en algunos casos se distingue una pequeña zona de viscosidad constante a bajas velocidades de cizalla en algunos, como es el caso de la goma xantana, la cual se ha reportado se ajusta al modelo de Carreau (Martínez-Padilla *et al.*, 2004), por esa razón las curvas de flujo o de viscosidad en función de la velocidad de cizalla, se probaron en los modelos de Ostwald, Carreau (o modelo generalizado, Carreau-Gahleitner) y Cross, también se puede observar que la viscosidad disminuye claramente en función de la velocidad de cizalla (material fluidificante).

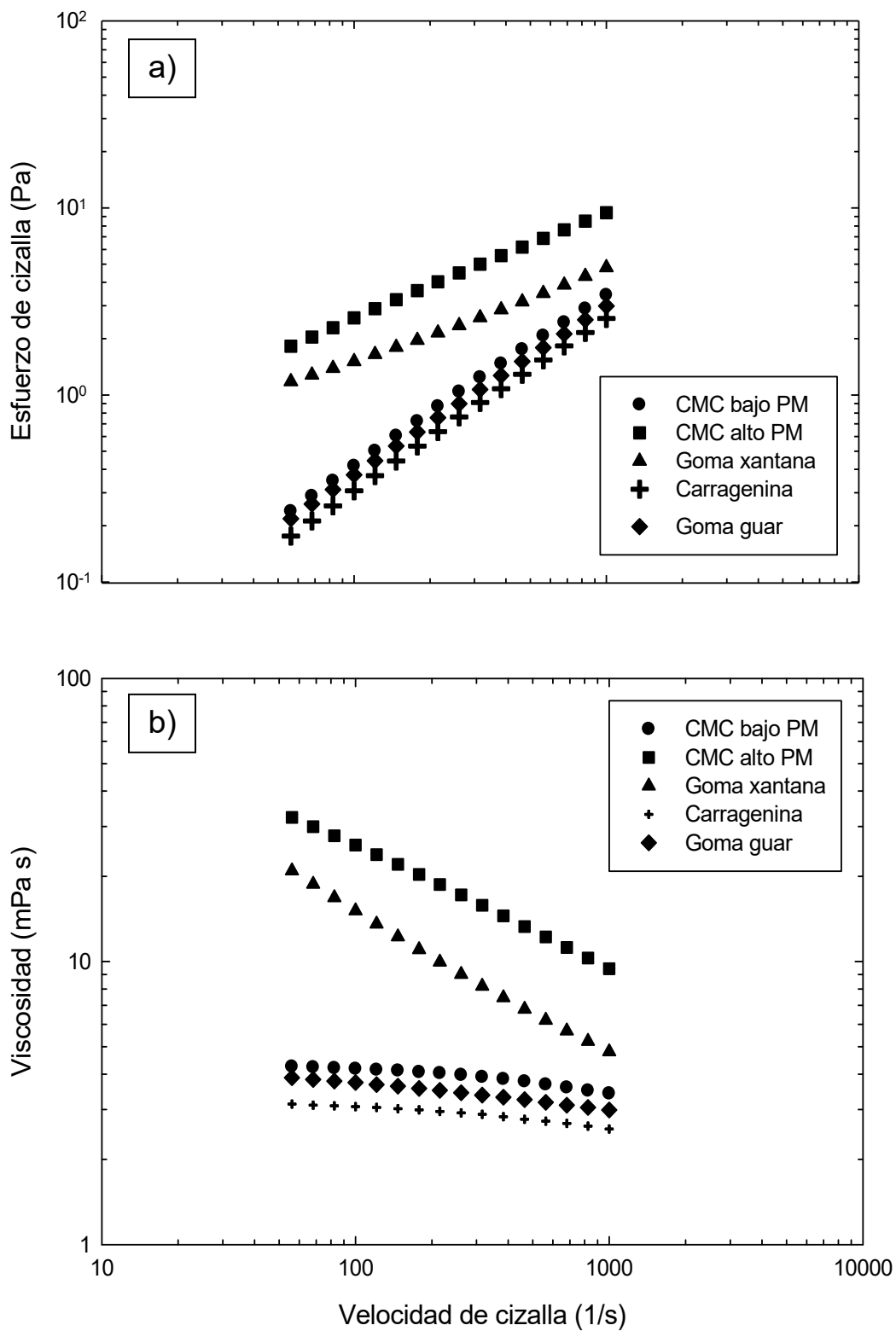


Figura 3.1 a) Esfuerzo de cizalla y b) Viscosidad en función de la velocidad de cizalla para los hidrocoloides espesantes seleccionados a una concentración del 0.1% a 25 °C.

En el Cuadro 3.1 se resumen los parámetros de ajuste del modelo de Carreau para la goma xantana y Carreau-Gahleitner el resto de los hidrocoloides, debido a que estos modelos son los que tuvieron mejor coeficiente de correlación y menor desviación estándar.

Cuadro 3.1 Parámetros reológicos de hidrocoloides espesantes en disolución acuosa.

	η_0 (Pa·s)	η_∞ (Pa·s)	A	B	p	r^2
Carboximetilcelulosa bajo peso molecular al 0.1%	a 0.0043	4.1×10^{-10}	2.7×10^{-3}	1.15	0.17	0.999
	b 0.0047	4.2×10^{-10}	5.0×10^{-4}	0.66	0.60	0.999
Carboximetilcelulosa alto peso molecular al 0.1%	a 0.16	2.0×10^{-3}	0.027	0.35	2.13	1
	b 0.21	2.6×10^{-3}	2.1×10^{-3}	0.26	4.28	1
Goma xantana al 0.1%	a 5.2×10^7	1.6×10^{-3}	2.6×10^{13}	-	0.31	1
	b 1.1×10^6	1.6×10^{-3}	4.7×10^{10}	-	0.31	1
Goma guar al 0.1%	a 0.0043	3.5×10^{-10}	0.021	0.87	0.14	0.999
	b 0.0040	3.5×10^{-10}	0.014	1.82	0.06	0.999
Carragenina al 0.1%	a 0.0033	3.0×10^{-10}	7.2×10^{-3}	1.18	0.11	0.999
	b 0.0032	3.0×10^{-10}	4.5×10^{-3}	1.30	0.10	0.999

(Réplicas: a y b)

Los hidrocoloides que se seleccionaron para utilizarse en mezcla con las carrageninas (estandarizada y refinada) son la carboximetilcelulosa de bajo peso molecular ya que proporcionaron baja viscosidad $\eta_0 = 0.0043$

y $0.0047 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) y la goma guar ($\eta_0 = 0.0043$ y $0.0040 \text{ Pa}\cdot\text{s}$), considerando que los parámetros obtenidos son parecidos a los de la carragenina estandarizada. Este último hidrocoloide fue tomado como referencia debido a que es el más utilizado en la elaboración de leche saborizadas.

3.2 Densidad y pH de las leches de estudio y suspensiones de cacao

Se determinaron el pH y la densidad de la materia prima para control del producto final y como referencia con las formulaciones de la base para leche saborizada y leche sabor chocolate. En el Cuadro 3.2 se muestran los resultados obtenidos de pH y densidad para la leche rehidratada (10%), ambas leches presentaron un pH cercano a la neutralidad y se encuentran en el pH normal (6.5 a 6.7) como lo reporta Badui (1991), la leche entera tuvo un pH de 6.55 y la leche semidescremada 6.61, teniendo poca diferencia entre ellas.

La densidad de 1060 y 1030 kg/m^3 respectivamente, esto puede deberse a la diferencia del contenido de grasa y proteína.

Cuadro 3.2 pH y densidad de la leche en rehidratada (10%) entera y semidescremada.

LECHE	pH a 25 °C	Densidad (kg/cm^3) a 20 °C
Entera	6.55 ± 0.015	1060 ± 0
Semidescremada	6.61 ± 0.006	1060 ± 0

\pm Desviación Estándar

En el Cuadro 3.3 se presenta el pH obtenido para el cacao en polvo, en dispersión acuosa y en leche para comprobar la alcalinidad de éste, ya que para la elaboración de la leche con chocolate se necesita cacao alcalinizado brindando un color más oscuro que el natural y un sabor más suave.

Se obtuvo un pH de 7 en disolución con agua y un pH de 6.64 para la disolución con leche, comprobando la información presentada en la ficha técnica del distribuidor, siendo un cacao levemente alcalinizado estando muy cercano a la neutralidad, tal y como se reporta por el proveedor (Cargillfoods, 2015).

Cuadro 3.3 pH de cacao (polvo) en agua y en leche rehidratada al 10%.

pH	
Cacao en agua (0.8%)	7 ± 0
Agua Epura	4.3 ± 0
Cacao en leche (0.8%)	6.64 ± 0.03
Leche (10%)	6.55 ± 0.01

± Desviación Estándar

3.3 Distribución de tamaño de partícula en leche y suspensiones de cacao

El tamaño de partícula en emulsiones de leche y otros alimentos es un factor importante para la definición de las características tanto sensoriales como estructurales y es útil para comprender los cambios que ocurren en el tamaño de partícula durante la producción y almacenamiento de los productos lácteos (McCrae y LePoetre, 1996).

Se analizó la distribución de tamaño de partícula de diferentes tipos de leche fluida y rehidratada al 10% (Figura 3.2) como referencia para poder analizar la distribución y el diámetro de partícula en las formulaciones de una base para leche saborizada y una leche sabor chocolate.

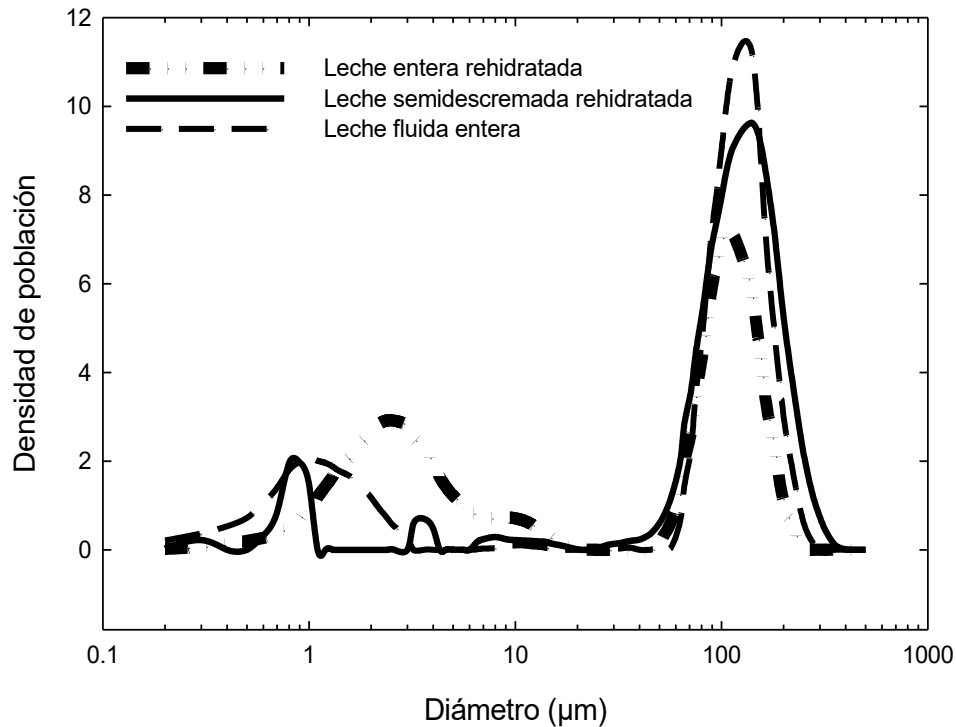


Figura 3.2 Distribución de tamaño de partícula para las diferentes leches de estudio.

Se puede observar que la leche fluida entera con un contenido de 3.6% presenta dos poblaciones definidas con modas de 1 y 140 μm (sin aplicación de tratamiento ultrasónico, como se muestra en el Cuadro 3.4).

En el caso de la leche rehidratada entera se observan dos poblaciones bien definidas en donde hay partículas entre 1.44 y 140 μm . La leche

rehidratada semidescremada presentó 3 poblaciones definidas a pesar de que tiene un contenido menor de grasa (2.5%).

Las partículas pequeñas pueden atribuirse a glóbulos de grasa. Las partículas grandes puede ser agregados de proteínas como las caseínas presentes en la leche y agregados de glóbulos de grasa.

Cuadro 3.4 Datos de moda (μm) de las poblaciones de las diferentes leches de estudio.

Sin ultrasonido			
LECHE	Población 1	Población 2	Población 3
Entera rehidratada (10%)	2.47 \pm 0.12	104 \pm 6.93	-
Semidescremada rehidratada (10%)	0.9 \pm 0	3.6 \pm 0	140 \pm 0
Fluida entera	1 \pm 0	140 \pm 0	-
Con ultrasonido			
LECHE	Población 1	Población 2	Población 3
Entera rehidratada (10%)	2.4 \pm 0	-	-
Semidescremada rehidratada (10%)	0.9 \pm 0	3.6 \pm 0	-
Fluida entera	0.9 \pm 0	-	-

\pm Desviación estándar

En el Cuadro 3.4 también se muestran los resultados obtenidos con tratamiento ultrasónico, en donde se puede observa con mayor claridad el tamaño de las partículas de grasa o proteína, debido a que éstas se encuentran dispersas uniformemente.

También se realizó el análisis del tamaño de partícula de las suspensiones de cacao en agua y leche rehidratada (10%), como referencia en las formulaciones para leche sabor chocolate. En la Figura 3.3 se presenta la distribución del tamaño de partícula, en donde se puede observar que la suspensión de cacao en agua es monomodal, ya que sólo cuenta con la partículas finas de cacao de aproximadamente 10 μm .

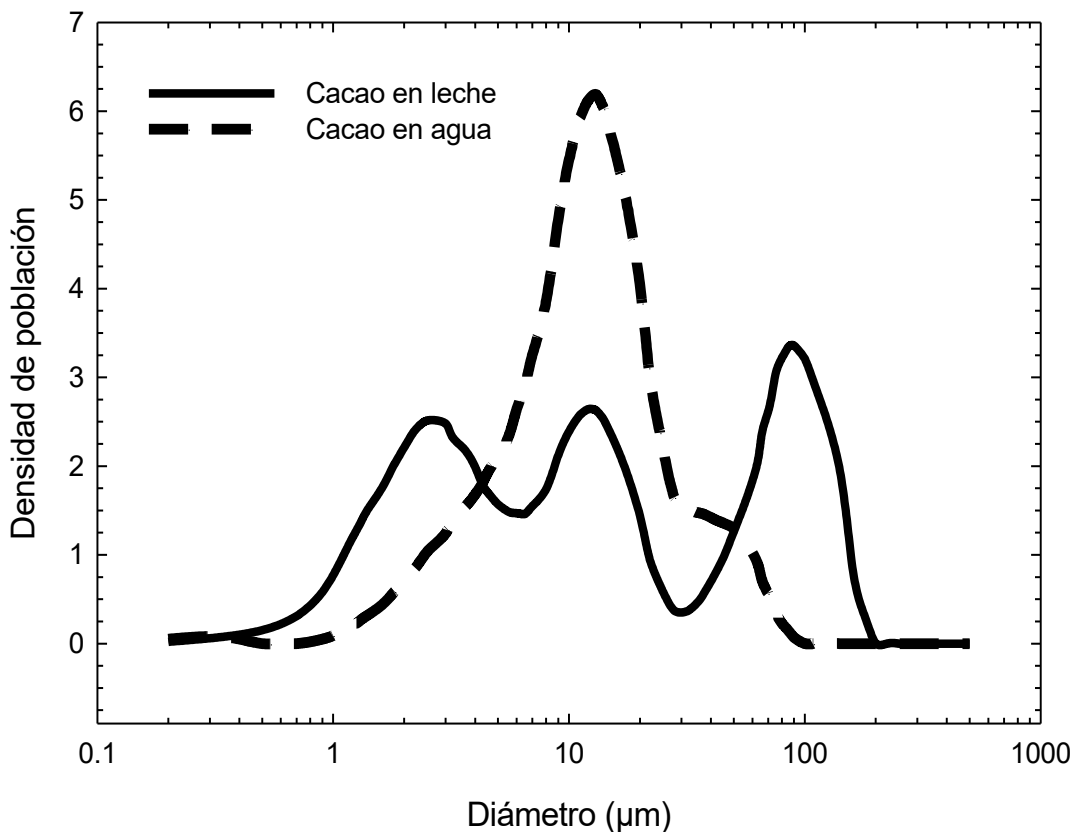


Figura 3.3 Distribución de tamaño de partícula para el cacao alcalino en polvo en agua y en leche rehidratada (10%).

La suspensión de cacao en leche mostró una distribución trimodal, esto se debe a que la leche contribuye con los glóbulos de grasa, agregados de glóbulos o agregados de proteína en suspensión como se observó en la leche fluida (Figura 3.3).

En el Cuadro 3.5 se reportan las modas y el tamaño de partícula del polvo de cacao, donde se puede observar que en la suspensión en leche, las partículas pequeñas son de 2.6 μm (glóbulos de grasa), las partículas grandes son de 90 μm (agregados de glóbulos o de proteína) y las partículas de 12 μm corresponden al cacao, ya que para la suspensión en agua la moda de las partículas presentes en ésta son de 13 μm .

Cuadro 3.5 Datos de moda (μm) para las suspensiones de cacao en leche y agua.

Sin tratamiento ultrasonido			
CACAO	Población 1	Población 2	Población 3
En leche	2.6 \pm 0	12 \pm 0	90 \pm 0
En agua	13 \pm 0	-	-
Con tratamiento ultrasonido			
En leche	2.6 \pm 0	12 \pm 0	-
En agua	13 \pm 0	-	-

\pm Desviación estándar

3.4 Formulaciones

En el Cuadro 3.6 se presenta la nomenclatura que se utilizará en la descripción de resultados.

Cuadro 3.6 Nomenclatura para las formulaciones de base para leche saborizada y leche con chocolate.

	Formulación	Base para leche saborizada	Leche con chocolate
		Nomenclatura	
LECHE ENTERA	Carragenina estandarizada	LEE	LECHE
	Carragenina refinada	LER	LECHR
	Carragenina estandarizada con carboximetilcelulosa	LEEC	LECHEC
	Carragenina estandarizada con goma guar	LEEG	LECHEG
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa	LERC	LECHRC
	Carragenina refinada con goma guar	LERG	LECHRG
LECHE SEMIDESCREMADA	Carragenina estandarizada	LSE	LSCHE
	Carragenina refinada	LSR	LSCHR
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa	LSRC	LSCHRC
	Carragenina refinada con goma guar	LSRG	LSCHRG

3.4.1 Densidad y pH de las formulaciones de estudio

Las disoluciones de carragenina, al igual que otros hidrocoloides, son estables a pH neutro o ligeramente ácido. La exposición a pH ácido, en combinación con altas temperaturas y tiempos prolongados, causa hidrólisis de la carragenina con pérdida de su capacidad para formar geles, por esta razón se recomienda trabajar en pH con valor mayor a 3.8 (Gelymar, 2015).

En el Cuadro 3.7 se muestran los valores de pH y densidad de las formulaciones para la elaboración de una base para leche saborizada. Los valores obtenidos de pH son similares en todas las formulaciones dando como resultado entre 6.46 y 6.67, este intervalo se encuentra en el pH normal de la leche que es de 6.5 a 6.7 como lo reporta Badui (1991), esto quiere decir que el pH no se ve afectado ni por la carragenina ni el azúcar añadida, manteniéndose un pH cerca de la neutralidad.

En cuanto a la densidad los resultados se mantuvieron en 1050 kg/m^3 para la leche entera. La leche semidescremada tuvo un intervalo entre 1050 kg/m^3 (carrageninas solas) y 1060 kg/m^3 (mezcla carragenina-hidrocoloide espesante) que a pesar de tener un contenido de grasa menor que la leche entera, su contenido de proteína es mayor. Los resultados de densidad obtenidos se encuentran cercanos al intervalo determinado en actividades previas (1030 y 1050 kg/m^3).

Cuadro 3.7 pH y densidad de las formulaciones de la base para leche saborizada elaboradas con carragenina estandarizada o refinada en leche rehidratada (10%) entera y semidescremada.

	FORMULACIÓN	pH a 25 °C	Densidad (kg/m ³) a 20 °C
LECHE ENTERA	Carragenina estandarizada (LEE)	6.57±0.01	1050±0
	Carragenina refinada (LER)	6.60±0.03	1050±0
	Carragenina estandarizada con carboximetilcelulosa (LEEC)	6.67±0.01	1050±0
	Carragenina estandarizada con goma guar (LEEG)	6.62±0.01	1050±0
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LERC)	6.63±0.01	1050±0
	Carragenina refinada con goma guar (LERG)	6.53±0.01	1050±0
LECHE SEMIDESREMADA	Carragenina estandarizada (LSE)	6.57±0.01	1050±0
	Carragenina refinada (LSR)	6.60±0.01	1050±0
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSRC)	6.49±0	1060±0
	Carragenina refinada con goma guar (LSRG)	6.46±0	1060±0

± Desviación Estándar

En el Cuadro 3.8 se presentan los resultados para las formulaciones de leche con chocolate. Los valores de pH se encuentran en un intervalo de

6.55 y 6.72, este intervalo es menor al pH de la leche con chocolate reportado en otros estudios, de 6.71 a 7.35 (Yanes *et al.*, 2002a), esto puede deberse al nivel de alcalinidad del cacao en polvo utilizado, ya que el pH de los polvos de cacao puede variar entre 6.0 y 8.8 dependiendo del proveedor.

Cuadro 3.8 pH y densidad de las formulaciones para leche con chocolate elaboradas con carragenina estandarizada y refinada en leche rehidratada (10%).

	FORMULACIÓN	pH a 25 °C	Densidad (kg/m ³) a 20 °C
ENTERA	Carragenina refinada (LECHR)	6.60±0.01	1050±0
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LECHRC)	6.72±0.01	1050±0
	Carragenina refinada con goma guar (LECHRG)	6.7±0	1050±0
SEMIDESCREMADA	Carragenina refinada (LSCHR)	6.55±0.01	1060±0
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSCHRC)	6.58±0.01	1060±0
	Carragenina refinada con goma guar (LSCHRG)	6.66±0	1060±0

± Desviación Estándar

3.4.2 Reología

Se realizó la caracterización reológica de las formulaciones base para leche saborizada y leche sabor chocolate para estudiar el comportamiento al flujo de las carrageninas (estandarizada y refinada) solas y en mezcla con los hidrocoloides espesantes (carboximetilcelulosa y goma guar).

En las Figuras 3.4 a y b se muestra el comportamiento al flujo de las formulaciones base para leche saborizada. En la Figura 3.4a se puede observar que en todas las formulaciones base existe un comportamiento característico de un material fluidificante que se ajusta al modelo de la potencia, ya que se presenta una relación lineal en escala logarítmica del esfuerzo de cizalla con la velocidad de cizalla. En la Figura 3.4b se puede observar que la viscosidad disminuye claramente en función de la velocidad de cizalla (material fluidificante).

Las formulaciones de carragenina en mezcla con goma guar (formulaciones LEEG, LERG y LSRG) presentaron una viscosidad mayor, debido a que este hidrocoloide espesante actúa sinérgicamente con las carrageninas produciendo un incremento notable de viscosidad, brindando viscosidades altas en sistemas acuosos o lácteos, incluso en concentraciones bajas, tendencias similares reportó Kawamura (2008). A diferencia de las formulaciones con carragenina solas (LEE, LER, LSE y LSR) y mezcla con carboximetilcelulosa (LEEC, LERC, LSRC) que presentaron viscosidades menores.

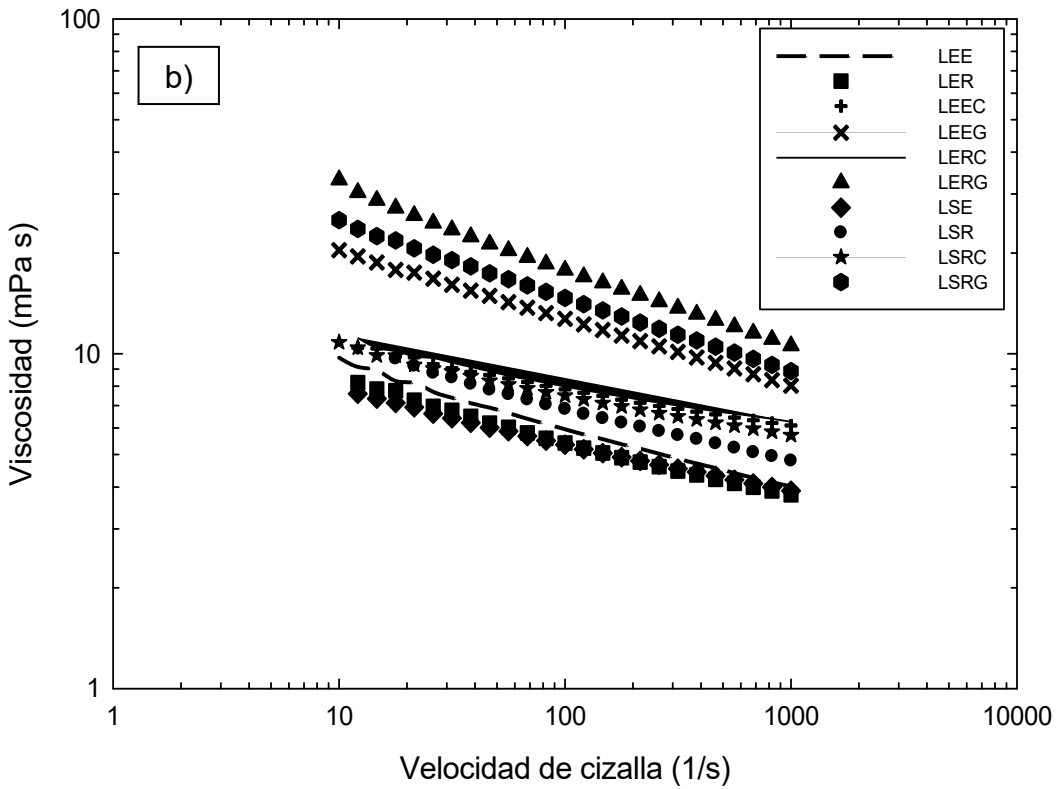
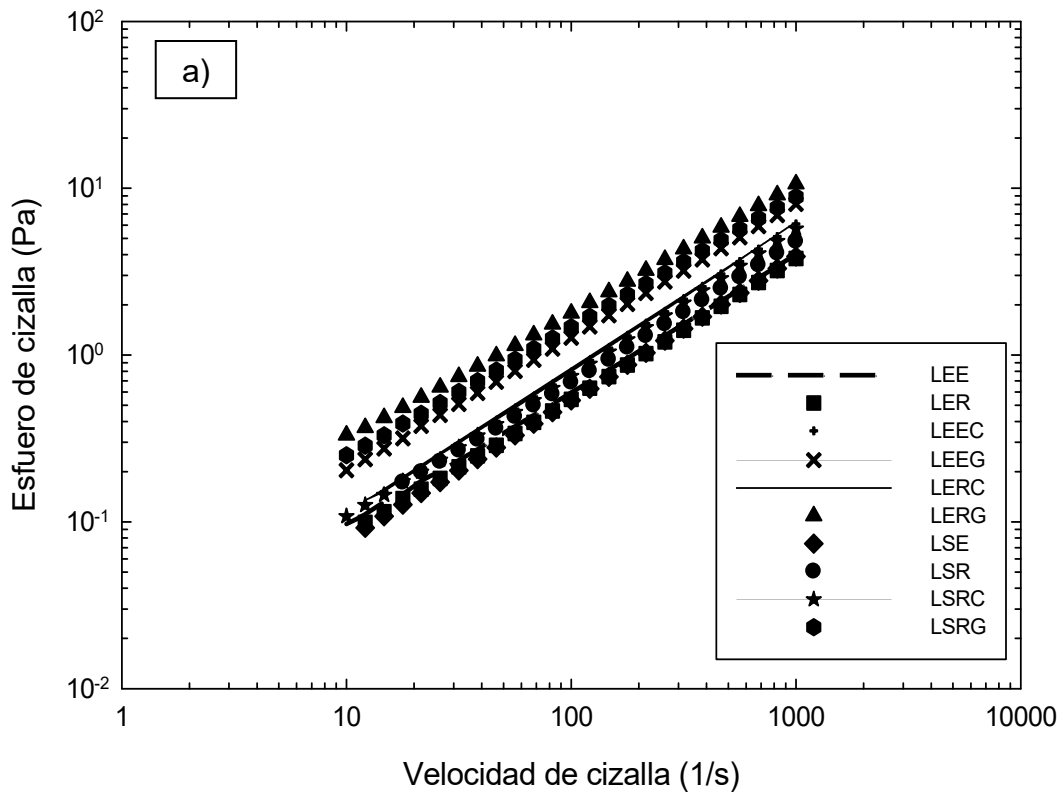


Figura 3.4 a) Esfuerzo de cizalla y b) Viscosidad en función de la velocidad de cizalla de las formulaciones base para leche saborizada.

En el Cuadro 3.9 se resumen los parámetros de ajuste del modelo de la potencia (Ostwald-Waele) obtenidos para las formulaciones base para leche saborizada (todas las formulaciones presentaron r^2 de 0.999).

La leche entera presentó valores de índice de consistencia (k) mayores en las formulaciones con goma guar (0.032 y 0.053 $Pa \cdot s^n$) debido a la alta viscosidad que brinda este hidrocoloide, además de que el índice de comportamiento al flujo, fue ligeramente menor que en las carrageninas solas.

Las formulaciones con carrageninas solas (estandarizada y refinada) y en mezcla con carboximetilcelulosa presentaron valores menores y con poca diferencia entre ellas (0.012 - 0.015 $Pa \cdot s^n$) con un índice de comportamiento al flujo (n) entre 0.82 y 0.87.

En cuanto a la leche semidescremada el valor más alto de k fue de 0.041 $Pa \cdot s^n$ para la mezcla con goma guar, con una n de 0.78. Esto puede deberse no sólo a que la goma guar brinda altas viscosidades sino que el contenido de proteína en la leche semidescremada (34 g/L) es mayor que en la leche entera (26 g/L), dando como resultado, probablemente una mejor interacción con las carrageninas y éstas a su vez con la goma guar al tener un alto sinergismo (Kawamura, 2008).

Cuadro 3.9 Parámetros reológicos de modelo de Ostwald-Waele de las formulaciones base para leche saborizada.

	FORMULACIÓN	$k (Pa \cdot s^n)$	n
ENTERA	Carragenina estandarizada (LEE)	0.014 ^b ±4.4x10 ⁻⁴	0.82 ^b ±7.5x10 ⁻³
	Carragenina refinada (LER)	0.012 ^c ±1.5x10 ⁻⁴	0.82 ^b ±1.5x10 ⁻⁴
	Carragenina estandarizada con carboximetilcelulosa (LEEC)	0.014 ^c ±2.1x10 ⁻⁴	0.87 ±2.2x10 ⁻³
	Carragenina estandarizada con goma guar (LEEG)	0.032 ^a ±2.5x10 ⁻⁴	0.80 ±1.5x10 ⁻³
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LERC)	0.015 ^b ±1.0x10 ⁻⁴	0.87 ^a ±1.6x10 ⁻³
	Carragenina refinada con goma guar (LERG)	0.053 ^a ±1.1x10 ⁻⁴	0.77 ^c ±3.9x10 ⁻³
SEMIDESREMADA	Carragenina estandarizada (LSE)	0.011 ^d ±1.5x10 ⁻⁵	0.85 ^b ±2.1x10 ⁻⁴
	Carragenina refinada (LSR)	0.015 ^b ±2.1x10 ⁻⁴	0.83 ^c ±2.1x10 ⁻⁴
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSRC)	0.014 ^c ±5.0x10 ⁻⁴	0.87 ^a ±5.1x10 ⁻³
	Carragenina refinada con goma guar (LSRG)	0.041 ^a ±3.1x10 ⁻⁴	0.78 ^d ±5.9x10 ⁻⁴

± Desviación Estándar, superíndices iguales indican que no hay diferencias significativas entre medias, $\alpha = 0.01$.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor en las formulaciones con carragenina refinada sola y en mezcla con los

hidrocoloides espesantes (carboximetilcelulosa o goma guar). Además se aplicó la prueba de Tukey para identificar donde había diferencias significativas entre medias, los datos están incluidos en el mismo Cuadro 3.9.

Es importante mencionar que las formulaciones con carragenina estandarizada más hidrocoloides espesantes, presentaron separación de fases 24 horas después de su preparación, esto puede deberse a que al no saber con que hidrocoloide se estandarizó la carragenina estandarizada, tanto la goma guar como la carboximetilcelulosa no tienen sinergia con éste, o se agregó en exceso, por esa razón solamente se analizaron estas mezclas (carragenina estandarizada más hidrocoloides) con la leche entera.

De igual manera a continuación se presentan los resultados para la leche con chocolate. En la Figura 3.5a se puede observar que en todas las formulaciones existe un comportamiento característico de un material fluidificante, ya que se presenta una relación lineal en escala logarítmica del esfuerzo de cizalla con la velocidad de cizalla, tal y como se observó en las bases para leche saborizada.

En la Figura 3.5b se puede observar que la viscosidad también disminuye en función de la velocidad de cizalla (material fluidificante), pero con una pendiente más pronunciada.

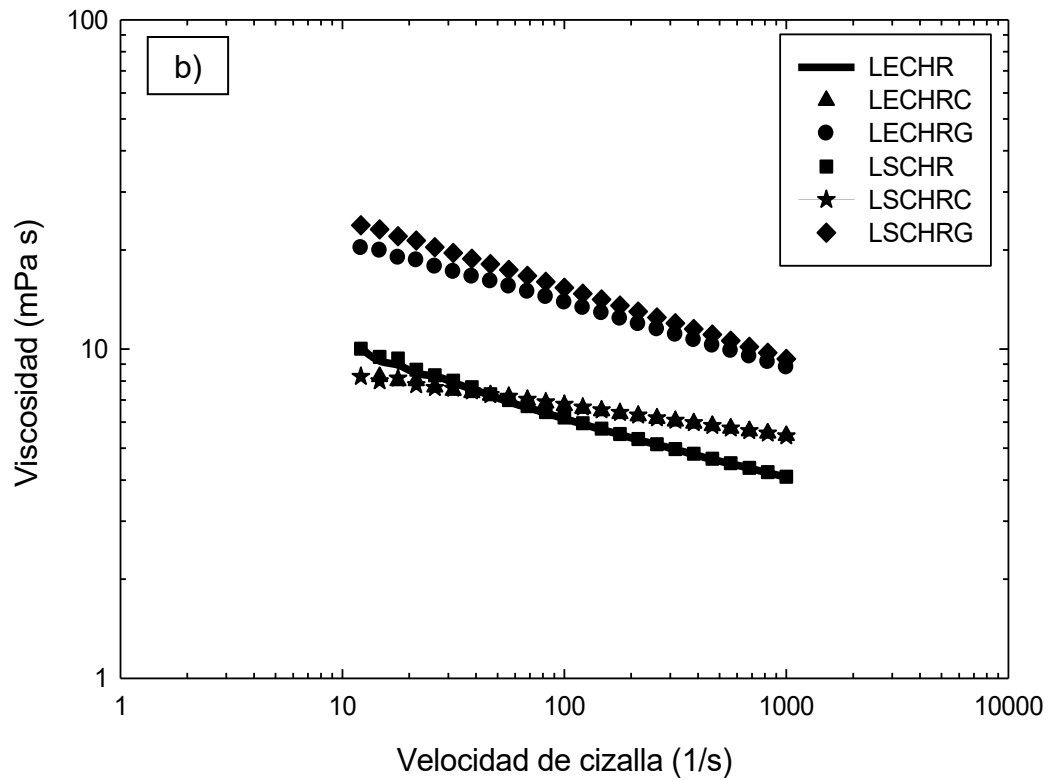
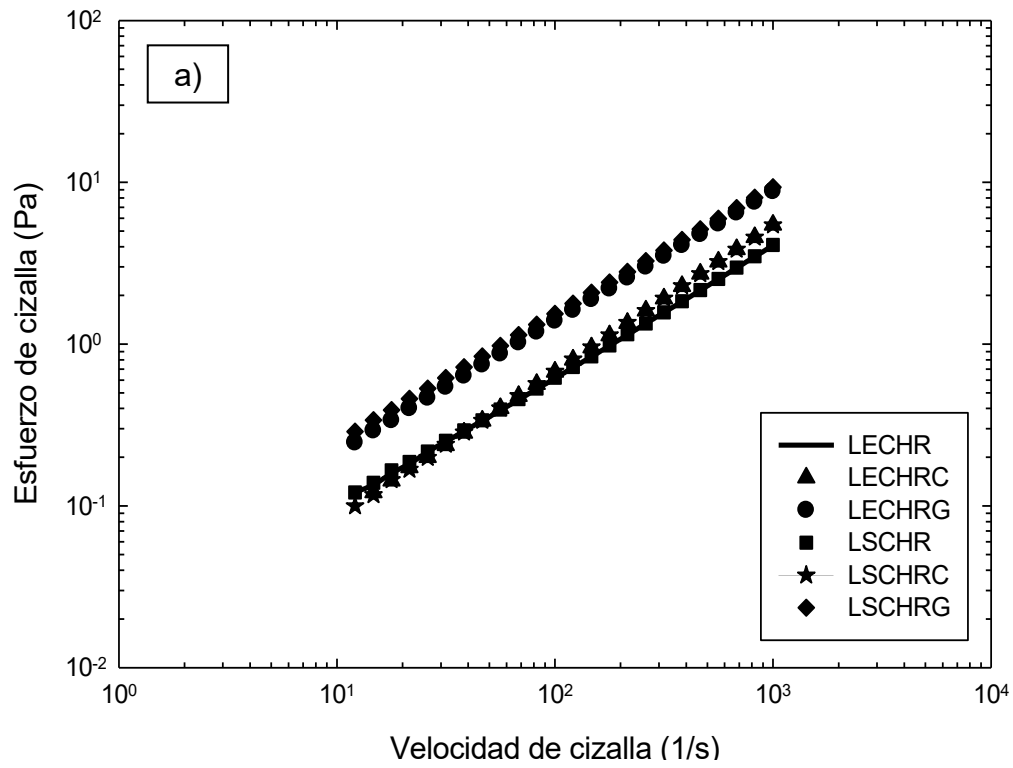


Figura 3.5 a) Esfuerzo de cizalla y b) Viscosidad en función de la velocidad de cizalla de las formulaciones para leche con chocolate.

En el Cuadro 3.10 se resumen los parámetros de ajuste para las formulaciones de leche con chocolate, que al igual que la base para leche saborizada sus r^2 fueron de 0.999. Para la leche entera y leche semidescremada, los valores de k fueron mayores en las mezclas con goma guar (0.034 y 0.041 $Pa \cdot s^n$), al igual que en la base para leche saborizada y teniendo valores de n entre 0.81 y 0.79. Comprobando el alto sinergismo observado en los parámetros obtenidos para las formulaciones base para leche saborizada.

Cuadro 3.10 Parámetros reológicos (modelo de la potencia) de las formulaciones de leche sabor chocolate.

	FORMULACIÓN	$k (Pa \cdot s^n)$	n
ENTERA	Carragenina refinada (LECHR)	0.016 ^b ±3x10 ⁻⁴	0.80 ^b ±6.6x10 ⁻⁴
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LECHRC)	0.011 ^c ±5.5x10 ⁻⁴	0.89 ^a ±6.2x10 ⁻³
	Carragenina refinada con goma guar (LECHRG)	0.034 ^a ±8.6x10 ⁻⁴	0.80 ^b ±3.3x10 ⁻³
SEMIDESCREMADA	Carragenina refinada (LSCHR)	0.015 ^b ±8.2x10 ⁻⁴	0.80 ^b ±5.1x10 ⁻³
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSCHRC)	0.011 ^c ±1.1x10 ⁻³	0.90 ^a ±1.2x10 ⁻²
	Carragenina refinada con goma guar (LSCHRG)	0.041 ^a ±3.2x10 ⁻⁴	0.79 ^b ±8.7x10 ⁻⁴

± Desviación Estándar, superíndices iguales indican que no hay diferencias significativas entre medias, $\alpha = 0.001$.

3.4.4 Tamaño de partícula en las formulaciones

En las Figuras 3.6 a y b se presentan las gráficas representativas de las formulaciones base para leche saborizada con leche rehidratada (10%) entera y semidescremada, ya que cada una de ellas tienen un comportamiento parecido, también se muestra la distribución de partículas de las leches de estudio (entera y semidescremada rehidratada). En las formulaciones base para leche saborizada sin tratamiento ultrasónico (Figura 3.6a) se pueden observar 3 poblaciones, con comportamiento polidisperso para ambas leches y se puede apreciar que las leches de estudio comparten características similares a éstas. En la Figura 3.6b se presentan las formulaciones anteriores con tratamiento ultrasónico, en donde se puede observar que las carrageninas solas (LEE, LER y LSR) presentan 2 poblaciones, mientras que las formulaciones en mezcla con goma guar (LEEG, LERG y LSRG) y carboximetilcelulosa (LEEC y LSRC) se mantienen con 3 poblaciones.

En el Cuadro 3.11 se resumen las modas para las formulaciones base para leche saborizada sin tratamiento ultrasónico en donde se presentan 3 poblaciones. Las partículas más pequeñas presentan un tamaño de $0.9 \mu\text{m}$ que probablemente corresponden a los glóbulos de grasa, las partículas que presentan un tamaño de $3 \mu\text{m}$ pueden ser agregados de glóbulos de grasa y micelas de proteína. Las partículas de mayor tamaño, entre $90 \mu\text{m}$ para la leche entera y $140 \mu\text{m}$ para la leche semidescremada pueden deberse a agregados de mayor tamaño presentes en la leche, que con tratamiento ultrasónico se dispersan uniformemente en las formulaciones con carrageninas solas (LEE, LER, LSE y LSR) como se muestra en el Cuadro 3.12.

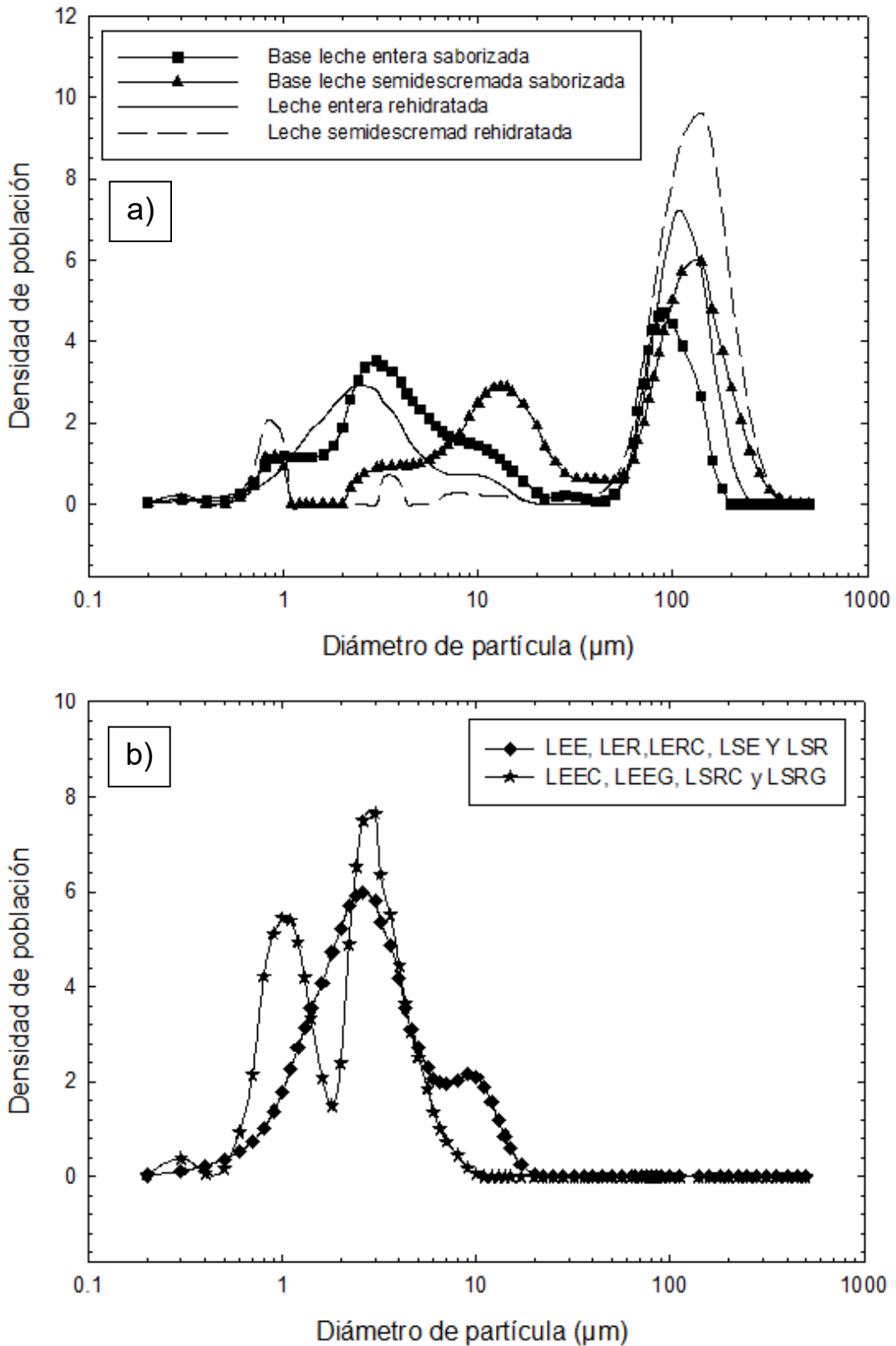


Figura 3.6 Distribución de tamaño de partícula para las formulaciones de base para leche saborizada a) sin tratamiento y b) con tratamiento ultrasónico.

Cuadro 3.11 Datos de moda (μm) sin tratamiento ultrasónico para la formulación de una base para leche saborizada.

	FORMULACIÓN	Población 1	Población 2	Población 3
ENTERA	Carragenina estandarizada (LEE)	0.3 \pm 0	2.6 \pm 0	90 \pm 0
	Carragenina refinada (LER)	1 \pm 0	3 \pm 0	93 \pm 5.8
	Carragenina estandarizada con carboximetilcelulosa (LEEC)	0.9 \pm 0	3 \pm 0	90 \pm 0
	Carragenina estandarizada con goma guar (LEEG)	1 \pm 0	3 \pm 0	112 \pm 0
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LERC)	0.9 \pm 0	3 \pm 0	98.3 \pm 2.89
	Carragenina refinada con goma guar (LERG)	1 \pm 0	3 \pm 0	100 \pm 0
SEMIDESCREMADA	Carragenina estandarizada (LSE)	0.9 \pm 0	3 \pm 0	100 \pm 0
	Carragenina refinada (LSR)	0.9 \pm 0	3 \pm 0	131 \pm 16.2
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSRC)	0.9 \pm 0	2.6 \pm 0	130.7 \pm 16.17
	Carragenina refinada con goma guar (LSRG)	1 \pm 0	3 \pm 0	140 \pm 0

\pm Desviación Estándar

En el Cuadro 3.12 se resumen los datos de modas con tratamiento ultrasónico de las formulaciones base para leche saborizada. Las partículas más pequeñas (glóbulos de grasa) presentan un tamaño de 0.3 a 1 μm para las mezclas de carragenina con los hidrocoloides espesantes y de 0.9 μm para las formulaciones con carragenina solas.

Las partículas de mayor tamaño (agregados de glóbulos de grasa y proteínas) en las formulaciones con hidrocoloides se encuentran entre 2.6 y 3.6 μm , esto puede deberse a que el hidrocoloide espesante interviene con asociación de proteínas o grasa.

Cuadro 3.12 Datos de moda (μm) con tratamiento ultrasónico para la formulación de una base para leche saborizada.

	FORMULACIÓN	Población 1	Población 2	Población 3
ENTERA	Carragenina estandarizada (LEE)	0.9 \pm 0	3 \pm 0	-
	Carragenina refinada (LER)	0.9 \pm 0	2.6 \pm 0	-
	Carragenina estandarizada con carboximetilcelulosa (LEEC)	0.3 \pm 0	0.5 \pm 0	2.6 \pm 0
	Carragenina estandarizada con goma guar (LEEG)	0.3 \pm 0	1 \pm 0	3 \pm 0
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LERC)	0.3 \pm 0	2.6 \pm 0	-
	Carragenina refinada con goma guar (LERG)	0.3 \pm 0	1 \pm 0	2.6 \pm 0
SEMIDESCREMADA	Carragenina estandarizada (LSE)	0.9 \pm 0	3.2 \pm 0	-
	Carragenina refinada (LSR)	0.9 \pm 0	2.6 \pm 0	-
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSRC)	0.3 \pm 0	0.9 \pm 0	3.6 \pm 0
	Carragenina refinada con goma guar (LSRG)	0.3 \pm 0	0.9 \pm 0	3.6 \pm 0

\pm Desviación Estándar

En las Figuras 3.7 a y b se presentan las gráficas representativas de las formulaciones para leche con chocolate (leche entera y semidescremada) ya que cada una de ellas tienen un comportamiento parecido, también se muestra la distribución de partículas de la suspensión de cacao en agua como referencia.

En el Cuadro 3.13 se resumen los datos de moda obtenidos para las formulaciones de leche con chocolate, en donde se observa que la leche con chocolate elaborada con leche entera rehidratada (10%) presenta 4 poblaciones. Las partículas pequeñas son de un tamaño de 1 μm (glóbulos de grasa), las partículas de 3 μm pueden ser agregados de grasa con micelas de proteína, las partículas de 12-14 μm son partículas de cacao, como se observa en la suspensión de cacao en agua estudiada anteriormente, y las partículas de mayor tamaños de 83-90 μm que probablemente corresponden a agregados.

En cuanto a la leche semidescremada rehidratada (10%) se presentan 3 poblaciones, esto puede deberse a que la cantidad de grasa es menor pero la cantidad de proteína (3.4 g/L) es mayor, dando como resultado una mayor interacción con la carragenina que en la leche entera (2.6 g/L). Las partículas pequeñas son de un tamaño de 0.9-1 μm (glóbulos de grasa), las partículas de 13 μm son el cacao y las partículas de mayor tamaño (140 μm) pueden deberse a agregados.

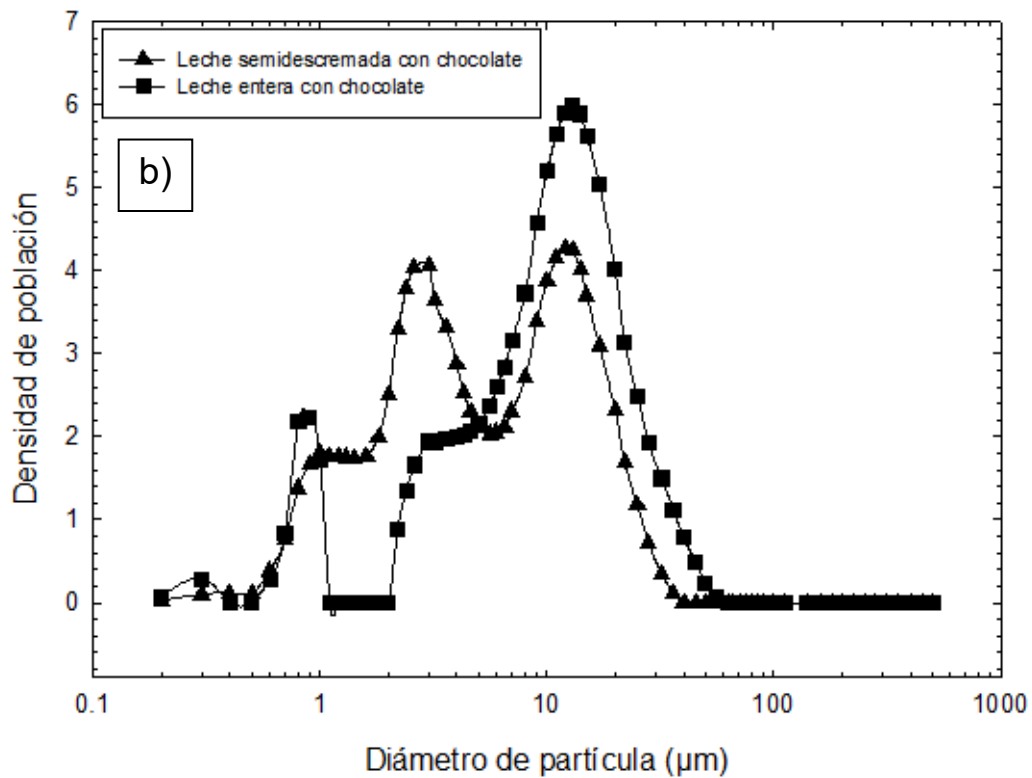
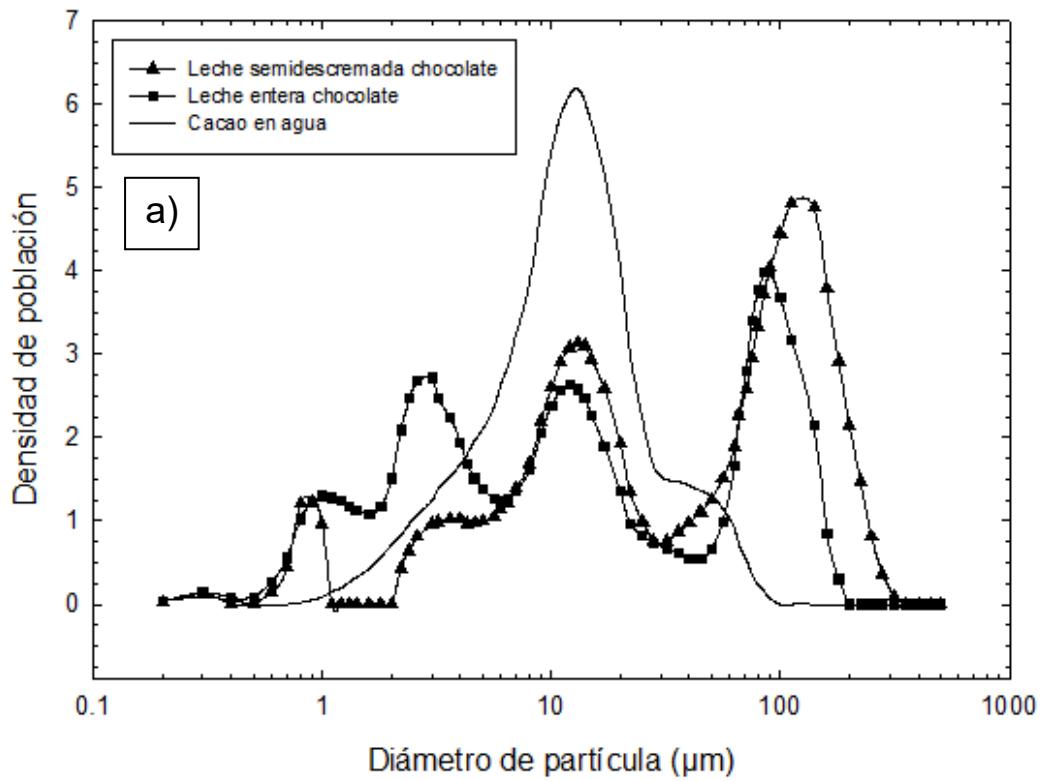


Figura 3.7 Distribución del tamaño de partícula para las formulaciones de leche con chocolate a) sin tratamiento ultrasónico y b) con tratamiento ultrasónico.

Cuadro 3.13 Datos de moda (μm) sin tratamiento ultrasónico para la formulación de leche con chocolate.

	FORMULACIÓN	Población 1	Población 2	Población 3	Población 4
ENTERA	Carragenina refinada (LECHR)	1 ± 0	3 ± 0	12 ± 0	90 ± 0
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LECHRC)	1 ± 0	3 ± 0	14 ± 0.6	83 ± 2.9
	Carragenina refinada con goma guar (LECHRG)	1 ± 0	3 ± 0	12 ± 0	90 ± 0
SEMIDESCREMADA	Carragenina refinada (LSCHR)	1 ± 0.1	13 ± 0	140 ± 0	-
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSCHRC)	0.9 ± 0	13 ± 0	140 ± 0	-
	Carragenina refinada con goma guar (LSCHRG)	1 ± 0	13 ± 0	112 ± 0	-

\pm Desviación Estándar

En el Cuadro 3.14 se resumen los datos de moda para las formulaciones de leche con chocolate ahora con tratamiento ultrasónico, en donde se puede observar que al igual que en el Cuadro 3.13 las formulaciones con leche entera rehidratada al 10% presenta 4 poblaciones. Las partículas pequeñas de $0.3 \mu\text{m}$ (glóbulos de grasa), partículas de 1 y $3 \mu\text{m}$ (glóbulos de agregados de grasa y micelas de proteína) y partículas de cacao con un tamaño de $12 \mu\text{m}$. Las formulaciones con leche semidescremada siguen presentando 3 poblaciones (0.3 , 0.9 y $13 \mu\text{m}$).

Las partículas se dispersaron uniformemente debido a la aplicación del tratamiento ultrasónico, dando como resultado el mismo número de poblaciones pero con menor tamaño de partícula en ambas leches de estudio.

Cuadro 3.14 Datos de moda (μm) con tratamiento ultrasónico para la formulación de leche con chocolate.

	FORMULACIÓN	Población 1	Población 2	Población 3	Población 4
ENTERA	Carragenina refinada (LECHR)	0.3 ± 0	1 ± 0	3 ± 0	12 ± 0
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LECHRC)	0.3 ± 0	1 ± 0	3 ± 0	12.33 ± 0.57
	Carragenina refinada con goma guar (LECHRG)	0.3 ± 0	1 ± 0	3 ± 0	12 ± 0
SEMIDESCREMADA	Carragenina refinada (LSCHR)	0.3 ± 0	0.9 ± 0	13 ± 0	-
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSCHRC)	0.3 ± 0	0.9 ± 0	13 ± 0	-
	Carragenina refinada con goma guar (LSCHRG)	0.3 ± 0	0.9 ± 0	13 ± 0	-

\pm Desviación Estándar

3.4.5 Estabilidad

La estabilidad contra la separación de fases o la sedimentación de partículas en productos alimenticios es también un aspecto de suma importancia en el estudio de las leches saborizadas y sus propiedades, tanto fisicoquímicas como reológicas (Alexander y Dalgleish, 2007).

En la Figura 3.8a se presenta el perfil característico de transmisión-retrodispersión de luz a través de una muestra inestable de base para leche saborizada (carragenina estandarizada en mezcla con carboximetilcelulosa). Se observa que la muestra presentó una sedimentación en la parte inferior del tubo (0 - 30 mm) y un clarificado notable en la parte superior de la muestra. Esto se debe a la separación de fases observada en dicha formulación 24 horas después de ser preparada.

En la Figura 3.8b se presenta el mismo gráfico en modo referencia considerando tiempo cero, el escaneo inicial en las muestras recién preparadas, en éste las dos zonas identificadas previamente, aparecen en forma de pico positivo o negativo, respectivamente. De igual manera, en la Figura 3.8a se presenta el perfil de transmisión-retrodispersión de luz a través de las muestras estables, característico de las formulaciones base para leche saborizada y leche con chocolate.

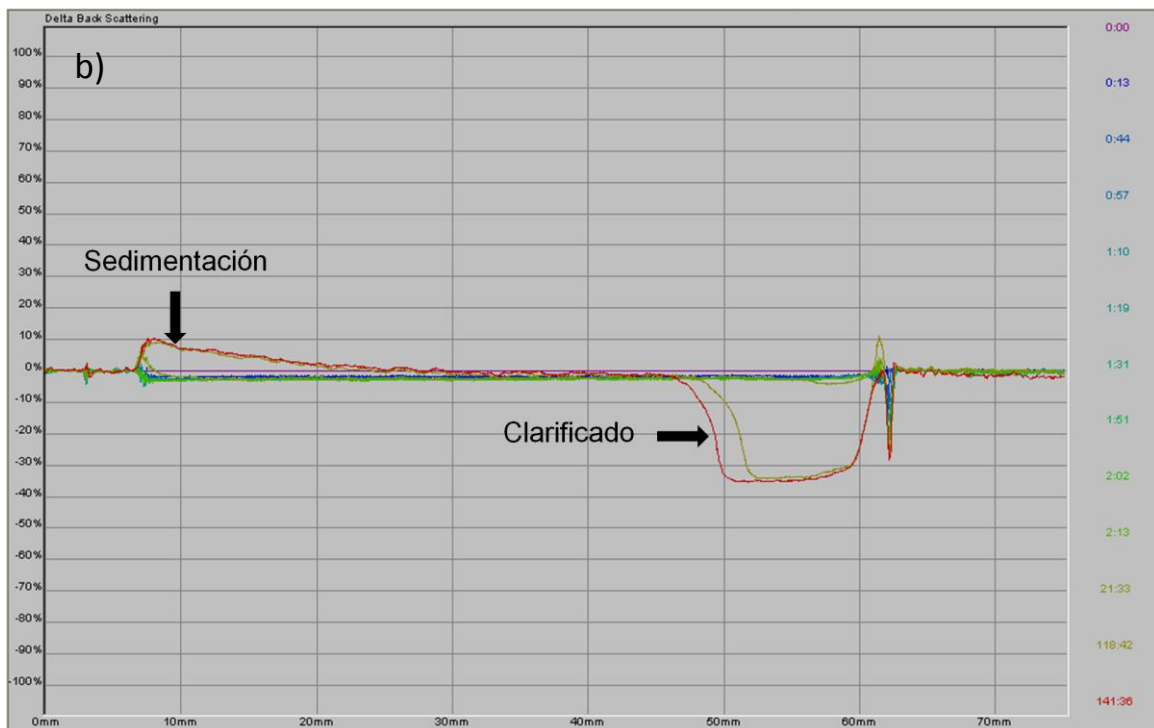
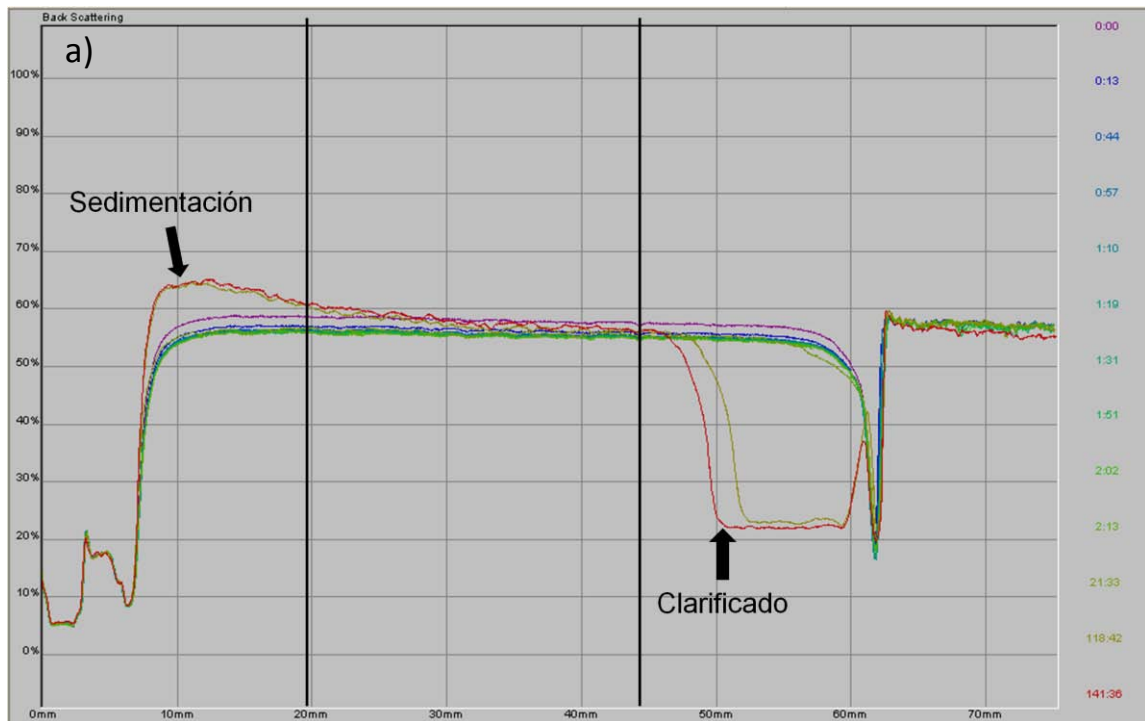


Figura 3.8 Gráfico de retrodispersión de luz a través de una muestra inestable de formulación base para leche saborizada en modo a) normal y b) referencia.

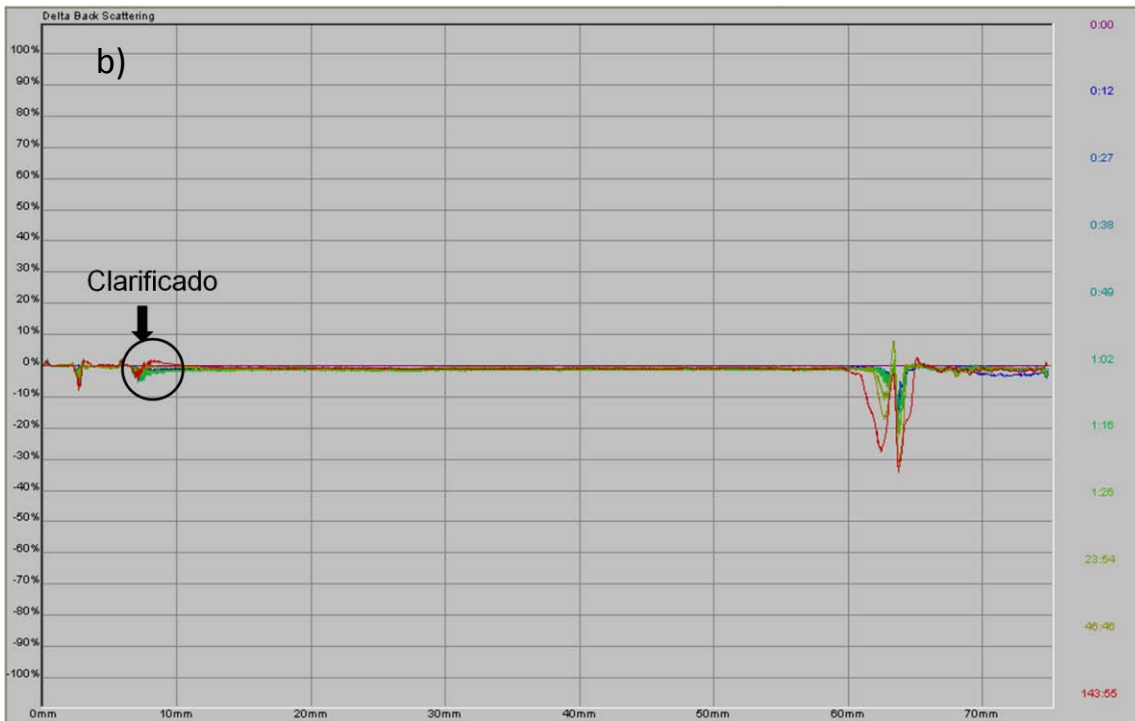
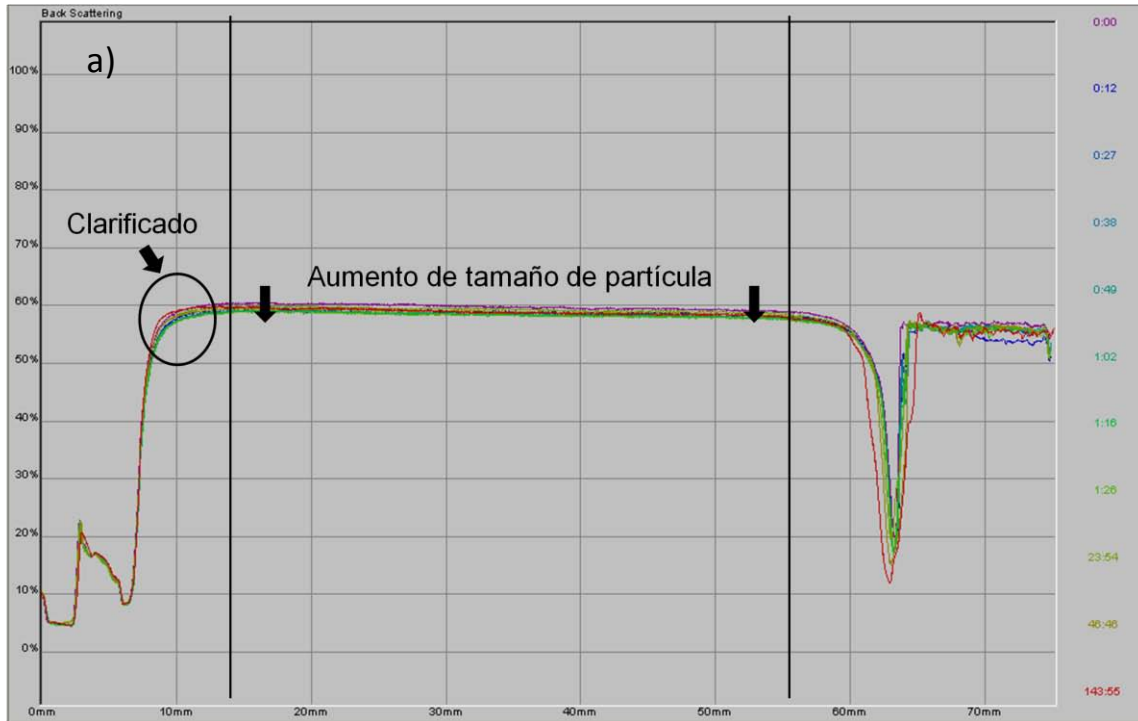


Figura 3.9 Gráfico representativo de retrodispersión de luz a través de las muestras de las formulaciones base para leche saborizada y leche con chocolate en modo a) normal y b) referencia.

Es importante mencionar que en las muestras no se observó ninguna zona traslucida por lo que no se registró transmisión de luz a través de las mismas, por lo que el análisis solamente se realiza en el modo de retrodispersión de luz.

Se observó que las formulaciones estables presentaron un pequeño clarificado en la parte inferior de la muestra (3 - 10 mm) después de 5 días y las inestables una sedimentación de partículas al día siguiente. Además se observó (Figura 3.9a) un aumento en el tamaño de partícula originado por la formación de agregados de glóbulos de aceite o agregados de partículas suspendidas en el centro del tubo (proteínas lácteas o cocoa en polvo), y un ligero cremado en la parte superior del tubo (60 - 65 mm), este último observado al día siguiente de su preparación. En la Figura 3.9b se presenta el mismo gráfico en modo referencia considerando tiempo cero, el escaneo inicial en las muestras recién preparadas. Se confirmó el clarificado de la muestra en la zona baja del tubo (3-10 mm), identificada por el pico negativo.

Para el análisis de resultados, se trataron cada proceso de desestabilización por separado. En el centro del tubo (30 - 40 mm), se calculó el aumento de tamaño de partícula o el aumento del tamaño de agregados, a través de la disminución de la retrodispersión de luz en función del tiempo, calculando los valores medios calculados por el software del equipo "Turbisof" en modo referencia.

En la Figura 3.10, se ejemplifica la tendencia de una formulación en la zona central del tubo, en donde se puede observar una tendencia casi

lineal, por lo que la pendiente de esa línea, representa la velocidad de disminución de retrodispersión de luz en función del incremento de tamaño (Mengual *et al.*, 1999).

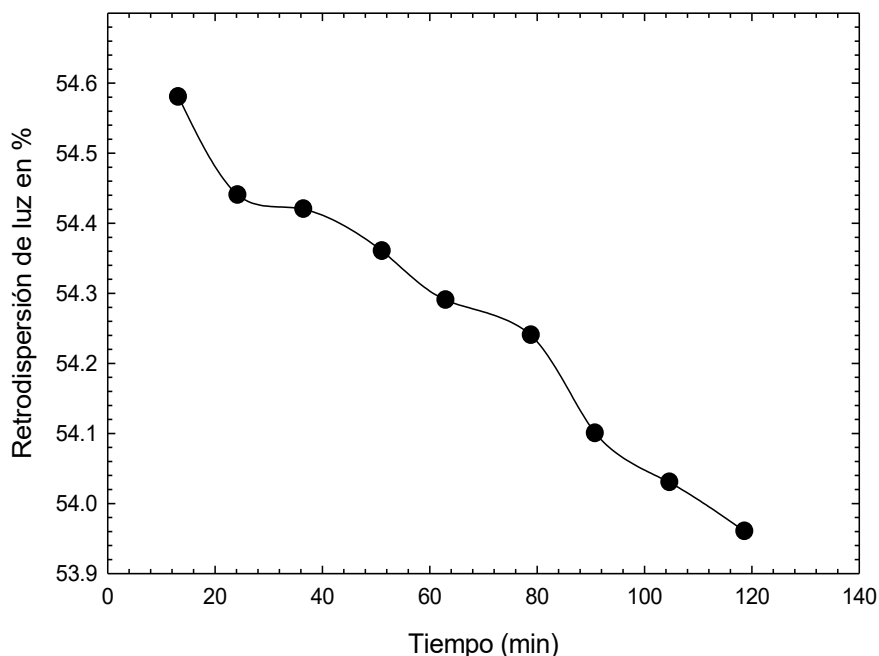


Figura 3.10 Gráfico representativo de la velocidad de disminución de retrodispersión de luz en el centro del tubo (30-40 mm) en función del tiempo.

En el Cuadro 3.15 se resumen las velocidades calculadas para las formulaciones de la base para leche saborizada. Se observa que las formulaciones menos estables (velocidades mayores) son las de carragenina estandarizada en mezcla con los hidrocoloides espesantes, esto se debe a que al no saber con que hidrocoloide se estandarizó la carragenina, tanto la goma guar como la carboximetilcelulosa no tienen sinergia con éste, o se agregó en exceso. Las velocidades calculadas oscilaron entre 2.3 y 6.7×10^{-3} retrodispersión de luz (%)/min.

Cuadro 3.15 Velocidad de disminución de la retrodispersión de luz en el centro del tubo (30-40 mm) para las formulaciones de base para leche saborizada.

	FORMULACIÓN	%/min
ENTERA	Carragenina estandarizada (LEE)	3.5×10^{-3}
	Carragenina refinada (LER)	2.8×10^{-3}
	Carragenina estandarizada con carboximetilcelulosa (LEEC)	1.4×10^{-2}
	Carragenina estandarizada con goma guar (LEEG)	1.5×10^{-2}
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LERC)	4.3×10^{-3}
	Carragenina refinada con goma guar (LERG)	5.1×10^{-3}
SEMIDESCREMADA	Carragenina estandarizada (LSE)	3.2×10^{-3}
	Carragenina refinada (LSR)	2.3×10^{-3}
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSRC)	6.7×10^{-3}
	Carragenina refinada con goma guar (LSRG)	5.1×10^{-3}

En cuanto a las formulaciones de leche con chocolate (Cuadro 3.16), la formulación más estable fue la que incluía carragenina refinada sola con leche semidescremada (5.0×10^{-4} retrodispersión de luz %/min), esto se puede deber a que esta leche contiene una mayor cantidad de proteína (3.4 g/L) y a la concentración de carragenina (0.03%), puede brindar

una mayor interacción entre el polisacárido y las proteínas presentes en la leches, por lo tanto presentó una mayor estabilidad.

Cuadro 3.16 Velocidad de disminución de la retrodispersión de luz en el centro del tubo (30-40 mm) para las formulaciones de leche con chocolate.

	FORMULACIÓN	%/min
ENTERA	Carragenina refinada (LECHR)	2.2×10^{-3}
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LECHRC)	5.6×10^{-3}
	Carragenina refinada con goma guar (LECHRG)	7.8×10^{-3}
SEMIDESCREMADA	Carragenina refinada (LSCHR)	5.0×10^{-4}
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSCHRC)	1.2×10^{-3}
	Carragenina refinada con goma guar (LSCHRG)	3.5×10^{-3}

De igual manera, se analizó la zona de clarificado en la parte baja del tubo (3-10 mm). En este caso, se obtuvo el gráfico del espesor absoluto en función del tiempo (software). Se registró el tiempo de inicio del clarificado y se calculó la pendiente de la línea de tendencia. En los Cuadros 3.17 y 3.18 se resumen los resultados obtenidos de velocidad de clarificado en las formulaciones de base para leches saborizada y leche con chocolate, respectivamente.

Cuadro 3.17 Velocidad de clarificado en la parte superior del tubo para las formulaciones de base para leche saborizada.

	FORMULACIÓN	Velocidad de clarificado (mm/min)
ENTERA	Carragenina estandarizada (LEE)	4.7×10^{-4}
	Carragenina refinada (LER)	3.2×10^{-4}
	Carragenina estandarizada con carboximetilcelulosa (LEEC)	1.7×10^{-3}
	Carragenina estandarizada con goma guar (LEEG)	2.3×10^{-3}
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LERC)	1.2×10^{-4}
	Carragenina refinada con goma guar (LERG)	3×10^{-4}
SEMIDESCREMADA	Carragenina estandarizada (LSE)	2.6×10^{-4}
	Carragenina refinada (LSR)	1.7×10^{-4}
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSRC)	1.6×10^{-4}
	Carragenina refinada con goma guar (LSRG)	2.4×10^{-4}

Se puede observar que las que tienen mayor velocidad de clarificado son las formulaciones de carragenina estandarizada en mezcla con hidrocoloides espesantes (carboximetilcelulosa y goma guar), confirmando los resultados discutidos previamente. En este caso, las velocidades son menores a las obtenidas en el aumento de tamaño de partícula o agregado, en el centro del tubo.

Es importante mencionar que la formulación base para leche saborizada es un sistema multifásico complejo, en el que coexiste la suspensión de partículas con la emulsión de glóbulos de aceite, que está en constante movimiento (browniano), por lo que los valores adquiridos en el escaneo de luz retrodispersa no son constantes.

En el Cuadro 3.18, se presentan las velocidades de clarificado observado en la parte superior del tubo (60 - 65 mm). Cabe mencionar que esta zona fue mucho más pequeña que la de sedimentación y con velocidades mucho más pequeñas (1.7×10^{-7} mm/min).

Cuadro 3.18 Velocidad de clarificado en la parte superior del tubo para las formulaciones de leche con chocolate.

	FORMULACIÓN	Velocidad de clarificado (mm/min)
ENTERA	Carragenina refinada (LECHR)	1.87×10^{-4}
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LECHRC)	2×10^{-5}
	Carragenina refinada con goma guar (LECHRG)	6×10^{-5}
SEMIDESCRENADA	Carragenina refinada (LSCHR)	5.5×10^{-5}
	Carragenina refinada con carboximetilcelulosa (LSCHRC)	1.8×10^{-4}
	Carragenina refinada con goma guar (LSCHRG)	1.7×10^{-7}

CONCLUSIONES

En este estudio se presentan alternativas de mezclas de hidrocoloides útiles para el desarrollo de leches saborizadas empleando productos comerciales en las formulaciones propuestas.

Los valores obtenidos de pH son similares en todas las formulaciones dando como resultado valores entre 6.46 - 6.60 (base para leche saborizada), y un intervalo entre 6.55 - 6.72 para la leche con chocolate, estos valores se encuentran cercanos a la neutralidad o al pH normal de la leche (6.5 - 6.7). Para los sistemas con carragenina, se recomienda trabajar en pH con valor mayor a 3.8, ya que éstas son estables a pH neutro o ligeramente ácido.

Para la densidad, los resultados se mantuvieron en 1050 kg/m^3 en la leche entera. La leche semidescremada presentó densidades en un intervalo entre 1050 kg/m^3 (carrageninas solas) y 1060 kg/m^3 (mezcla carragenina-hidrocoloide espesante), que a pesar de tener un contenido de grasa menor que la leche entera, su contenido de proteína es mayor.

En cuanto a las propiedades de flujo, las formulaciones tanto base para leche saborizada como leche con chocolate, presentaron un comportamiento característico de un material fluidificante, ya que se presentó una relación lineal en escala logarítmica del esfuerzo de cizalla con la velocidad de cizalla, ajustándose al modelo de la potencia (Ostwald- Waele).

Las formulaciones de carragenina en mezcla con goma guar presentaron una viscosidad mayor, observando que el sinergismo con las carrageninas producen un incremento notable de viscosidad, brindando viscosidades altas, incluso en concentraciones bajas.

En cuanto a la estabilidad en las formulaciones de base para leche saborizada, todas fueron muestras estables con excepción de las mezclas de carragenina estandarizada con hidrocoloides espesantes (carboximetilcelulosa o goma guar), presentando velocidades de clarificación de 1.4×10^{-2} y 1.5×10^{-2} mm/min, al no saber con que hidrocoloide se estandarizó esta carragenina, produciendo una separación de fases.

Para las formulaciones de leche con chocolate, la mayoría fueron muestras estables, confirmado con las bajas velocidades de clarificación obtenidas (1.8×10^{-4} y 1.7×10^{-7} mm/min). La formulación más estable fue la que incluía carragenina refinada sola en leche semidescremada, ya que presentó la menor velocidad de disminución de la retrodispersión de luz en el centro del tubo (5.0×10^{-4} %/min), o menor incremento de tamaño de partícula (agregación), esto se puede deber a que esta leche contiene una mayor cantidad de proteína (3.4 g/L) y a la concentración de carragenina (0.03%), brindando una mayor interacción entre el polisacárido y las proteínas presentes en la leches. Por lo tanto utilizarla en menor concentración (0.015%) disminuye su efecto.

REFERENCIAS

- Aguilera, J.M., Stanley, D.W. 1999. *Microstructural Principles of Food Processing and Engineering*. 2nd ed. Maryland, USA: Aspen Publication.
- Alexander, M., Dalgleish, G.D. 2007. The interaction of casein micelles with k-carrageenan studied by diffusing wave spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, 21, 128-136.
- Anton Paar, 2016. Densímetro DMA 500 (en línea). Consultado 22 Septiembre, 2016. Disponible en <http://www.anton-paar.com/mx-es/productos/detalles/densimetro-dma-500/>.
- Badui, S. 1995. *Química de los Alimentos*. 2^a ed. México: Alhambra Mexicana.
- Bayarri, S., González-Tomás, L., Costell, E. 2009. Viscoelastic properties of aqueous and milk systems with carboxymethyl cellulose. *Food Hydrocolloids*, 23, 441-450.
- Bird, R.B., Armstrong, R.C., Hassager, O. 1987. *Dynamics of Polymeric Liquids, Vo.. 1, Fluid Dynamics*. 2nd ed. New York: Wiley.
- Cargill. 2016. Cacao en polvo (en línea). Consultado 29 Marzo, 2016. Disponible en <http://www.cargillfoods.com/lat/pt/produtos/cacau-chocolate/produtos/pode-cacau-spectrum-line/index.jsp>.
- Carreau, P.J., Degee, D., Chhabra, R.P. 1997. *Rheology of Polymeric Systems: Principles and Applications*. Munich: Hanser.
- Cilas sitio oficial. 2015. Particle size (en línea). Consultado 3 octubre, 2015. Disponible en http://www.particle-size.com/cilas_930_particle.htm.

- Codex Alimentarius. 2011. Leche y productos lácteos (en línea). Consultado 15 octubre, 2015. Disponible en ftp://ftp.fao.org/codex/Publications/Booklets/Milk/Milk_2011_ES.pdf.
- Cross, M. 1964. Rheology of non-Newtonian fluids: a new flow equation for pseudoplastic system. *Journal of Colloid Science*, 20, 414-437.
- FMC BioPolymer, 1988. Chocolate Milk (en línea). Consultado 17 agosto, 2015. Disponible en <http://www.hawkinswatts.com/documents/FMC%20BVR-07%20Chocolate%20Milk%20recipe.pdf>.
- Gelymar. 2015. Leche chocolatada, Boletín de aplicación número 74. Santiago, Chile: Gelymar.
- Gelymar sitio oficial (en línea). Consultado 20 septiembre, 2015. Disponible en <http://www.gelymar.com/es/configuracion-quimica/>.
- Gil, M.A. 2010. *Preelaboración y Conservación de Alimentos*. España: Akal.
- Grindrod, J., Nickerson, T.A. 1968. Effect of various gums on skim milk and purified milk proteins. *Journal of Dairy Science*, 51, 834-841.
- Kristensen, D., Jensen, P.Y., Madsen, F., Birdi, K.S. 1997. Rheology and surface tension selected processed dairy fluids. *Journal of Dairy Science*, 80, 2280-2290.
- Heinze, T., Pfeiffer, K. 1999. Studies on the synthesis and characterization of carboxymethylcellulose. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, 266, 37-45.
- Kawamura, Y. 2008. Guar gum Chemical and Technical Assessment. 69th JECFA; FAO.

- Langendorff, V., Cuvelier, G., Launay, B., Parker, A., Dekriuf, C.G. 2000. Effects of carrageenan type on the behaviour of carrageenan/milk mixtures. *Food Hydrocolloids*, 14, 273-280.
- Lapasin, R., Prici, S. 1995. *Rheology of Industrial Polysaccharides: Theory and Applications*. Gran Bretaña: Chapman & Hall.
- Li, J.M., Nie, S.P. 2015. The functional and nutritional aspects of hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*. 1-15. En proceso: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.035>.
- Martinez-Padilla, L.P., López-Araiza, F., Tecante, A. 2004. Steady and oscillatory shear behavior of fluid gels formed by binary mixtures of xanthan and gellan. *Food Hydrocolloids*, 18, 471-481.
- Martinez-Padilla, L.P. 2012. Guía rápida de uso del reómetro MCR301 Physica. Documentación interna. LAPRYFAL, FESC, UNAM.
- Mengual, O., Meunier, G., Cayré, I., Puech, K., Snabre, P. 1999. Turbiscan MA 2000: Multiple light scattering measurement for concentrated emulsion and suspension instability analysis. *Talanta*, 50, 445-456.
- McCrae, C.H., LePoetre, A. 1996. Characterization of dairy emulsions by forward lobe laser light scattering – application to milk and cream. *Dairy Journal*, 6, 247-256.
- McHugh, D.J. 2003. Carrageenan. in a guide to the seaweed industry: FAO fisheries technical paper 441. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Núñez-Santiago, M.C., Tecante, A. 2007. Rheological and calorimetric study of the sol-gel transition of κ -carrageenan. *Carbohydrate Polymers*, 69, 763-773.

- Oakenfull, D., Miyoshi, E., Nishinari, K., Scott, A. 1999. Rheological and thermal properties of milk gels formed with kappa-carragenaan. I. Sodium caseinate, *Food Hydrocolloids*, 13, 525-533.
- Oakton sitio oficial (en línea). Consultado 3 octubre, 2015. Disponible en <http://www.4oakton.com/products.asp?parent=1&prod=12>.
- Ospina, M.M., Sepulveda, J.U., Restrepo, D.A., Cabrera, K.R., Suárez, H. 2012. Influencia de goma xantana y goma guar sobre las propiedades reológicas de leche saborizada con cacao. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10, 51-59.
- Phillips, L.G., McGiff, M.L., Barbano, D.M., Lawless, H.T. 1995. The influence of fat on the sensory properties, viscosity and color of lowfat milk. *Journal of Dairy Science*, 78, 1258-1266.
- Pochteca. 2016. Cacao natural y alcalina (en línea). Consultado 29 Marzo, 2016. Disponible en <http://www.pochteca.com.mx/cocoa-natural-y-alcalina/>.
- Prajapati, V.D., Maheriya, P.M., Jani, G.K., Solanki, H.K. 2014. Carrageenan: A natural seaweed polysaccharide and its applications. *Carbohydrate Polymers*, 105, 97-112.
- Prentice, J.H. 1992. *Dairy Rheology. A Concise Guide*. New York: VCH Publishers.
- Revilla, A. 1982. *Tecnología de la Leche*. San José, Costa Rica: IICA.
- Schmidt, K.A., Smith, D.E. 1992. Milk reactivity of gum and milk protein solutions. *Journal of Dairy Science*, 75, 3290-3295.
- Silverson. 2015. Production of flavored milk drinks (en línea). Consultado 20 Septiembre, 2015. Disponible en

<http://www.silverson.com/images/uploads/documents/FFlavoredMilk.pdf>.

- Spreer, E. 1991. *Lactología Industrial*. España: Acribia.
- Stanley, N.F. 1990. *Food Gels*. NY, USA: Elsevier Applied Science.
- Therkelsen, G.H. 1993. *Industrial gums*. San Diego, CA: Academic Press.
- Steffe, J.F. 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. 2nd ed. Michigan, USA: Freeman Press.
- Tárrega, A., Vélez-Ruiz, J.F., Costell, E. 2005. Influence of milk on the rheological behaviour of crosslinked waxy maize and tapioca starch dispersions. *Food Research International*, 7, 759-768.
- Tuinier, R., Ten Grotenhuis, E., De Kruif, C.G. 2000. The effect of depolymerised guar gum on the stability of skim milk. *Food Hydrocolloids*, 14, 1-7.
- Van Den Boomgaard, T.H., Van Vliet, T., Van Hooydonk, A.C.M. 1987. Physical stability of chocolate milk. *International Journal of Food Science and Technology*, 22, 279-291.
- Wayne, J.E., Shoemaker, C.F. 1988. Rheological characterization of commercially processed fluid milks. *Journal of Texture Studies*, 19, 143-152.
- Windhab, E.J. 1995. Rheology in food processing. En: *Physico-chemical aspects of food processing*, Beckett, S.T. (Ed.), Gran Bretaña: Blackie Academic Professional.
- Xu, S.Y., Stanley, D.W., Goff, H.D., Davidson, V.J., LeMaguer, M. 1992. Hydrocolloid/milk gel formation and properties. *Journal of Food Science*, 57, 96-102.

- Yanes, M., Durán, L., Costell, E. 2002a. Rheological and optical properties of commercial chocolate milk beverages. *Journal of Food Engineering*, 5, 229-234.
- Yanes, M., Durán, L., Costell, E. 2002b. Effect of hydrocolloid type and concentration on flow behaviour and sensory properties of milk beverages model systems. *Food Hydrocolloids*, 16, 605-611.