



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**Influencia del tipo de carrageninas y leches comerciales en las  
propiedades texturales, fisicoquímicas y sinéresis de un postre  
lácteo gelificado**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA**

**CLARA ORTIZ MARTÍNEZ**

**ASESORA: DRA. VIRGINIA AGUSTINA DELGADO REYES  
COASESORA: DRA. LAURA PATRICIA MARTÍNEZ PADILLA**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO**

**2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

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

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

Influencia del tipo de carrageninas y leches comerciales en las propiedades texturales, fisicoquímicas y sinéresis de un postre lácteo gelificado.

Que presenta la pasante: Clara Ortiz Martínez

Con número de cuenta: 412015357 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de Junio de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	I.A. Patricia Muñoz Aguilar	
<b>VOCAL</b>	I.A. Miriam Álvarez Velasco	
<b>SECRETARIO</b>	Dra. Virginia Agustina Delgado Reyes	
<b>1er. SUPLENTE</b>	I.A. Miriam Edith Fuentes Romero	
<b>2do. SUPLENTE</b>	Dra. María Guadalupe Sosa Herrera	

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

LMCF/mimgn\*

## **DEDICATORIAS**

Dedico esta tesis a mi mami por haberme forjado como la persona que soy, muchos de mis logros te los debo a ti, entre ellos este trabajo que es por ti y para ti. Muchas gracias por estar siempre a mi lado, dándome los ánimos que no siempre tenía, por las veces que estuve a punto de rendirme y nunca lo permitiste. Eres el motor de mi vida, sin ti el camino hubiera sido más difícil, te amo.

A Valentín y Mayra: Este trabajo lo pude lograr también gracias a ustedes, cada uno a su manera aportó un granito de arena para llegar a este momento. Gaby y Vampi deseo de todo corazón que al compartir este momento con ustedes los motive a seguir adelante y en algunos años puedan vivir esta gran experiencia.

## AGRADECIMIENTOS

Debo reconocer que me cuesta trabajo escribir estas palabras, ya que fueron muchas las personas quienes me acompañaron y motivaron a lo largo de este proceso, siento que las palabras no me alcanzan para expresarles mi agradecimiento y cariño por cada uno de ustedes.

A Carmen por dejarme ocupar un lugarcito en su familia y hacerme sentir parte de ella, por los ánimos y por todo el apoyo que siempre me brindo sin importar la situación ni el momento. Muchas gracias.

A mango, Melody, Paam, Joako, Aarón, Pily, Anita, Joss y Beca; mis amigos, confidentes y colegas, no puedo dejar de agradecerles el haberme acompañado durante mi etapa Universitaria, gracias por los abrazos, las reflexiones, las sonrisas, las bromas, los enojos, las tristezas y también por las lágrimas, cada experiencia que viví con cada uno de ustedes me ha enseñado que nuestro camino aún es largo y tenemos muchas cosas por compartir.

A Edith Fuentes y Olivia Noguez: Si alguna vez tuviera que definir la fortaleza y grandeza humana, sin duda recurriría a mis recuerdos con ustedes. Gracias por la compañía, por invertir su tiempo, compartiendo su experiencia y conocimiento, por confiar y creer en mí, por sus consejos, por enseñarme a dar todo sin esperar nada a cambio. Amo su humanidad y agradezco el cariño que siempre me brindaron, siguen siendo un gran ejemplo en mi vida.

A ti porque me enseñaste que entre los sueños y la realidad sólo hay un paso (lo difícil era comenzar), fuiste la primera persona que confió en mí y me encamino en esta travesía, siempre has estado y seguirás presente en cada momento de mi vida.

A la familia San Germán Elizondo, por todo el apoyo recibido antes, durante y después de concluir la carrera.

A mis asesoras y sinodales, les agradezco enormemente el tiempo que dedicaron para la conclusión de este trabajo. En especial a la Dra. Laura Patricia (aunque ya sé que este tema no le causaba gran emoción) mil gracias por ayudarme y guiarme de principio a fin, es una persona admirable tanto a nivel personal como profesional.

A la DGAPA-UNAM, Programa de apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, PAPIIT IN1118214, "Propiedades reológicas y fisicoquímicas de biomoléculas funcionales de interés en la formación de sistemas coloidales alimenticios" por la beca recibida para el desarrollo de este trabajo.

# ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 Ingredientes en los postres lácteos	1
1.1.1 Carragenina	2
1.1.2 Azúcar	12
1.1.3 Leche	13
1.1.4 Mantequilla	15
1.1.5 Sal	15
1.1.6 Fructanos de agave	15
1.2 Interacción proteína-polisacárido	17
1.3 Textura de postres lácteos	20
1.3.1 Perfil de textura	20
1.3.2 Fuerza de gel	22
CAPITULO II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	24
2.1 Objetivos	24
2.2 Materiales	24
2.3 Métodos	25
2.3.1 Determinación de humedad en polvos	25
2.3.2 Formulación para la base de postre lácteo.	26
2.3.3 Preparación del gel	28
2.3.4 Fuerza de gel y perfil de textura	28
2.3.5 Determinación de la estabilidad del gel por sinéresis	29
2.3.6 Determinación de pH y densidad	30
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1 Efecto del tipo de carrageninas en geles elaborados con leche entera líquida ultrapasteurizada (LUHT)	32
3.1.1 Propiedades fisicoquímicas	32
3.1.2 Perfil de textura	33
3.1.3 Fuerza de gel	35
3.2 Efecto del tipo de leche empleando dos tipos de carragenina (estandarizada A y B) en geles.	38
3.2.1 Propiedades fisicoquímicas	38
3.2.2 Perfil de textura	40
3.2.3 Fuerza de gel	45
3.3 Propiedades obtenidas con y sin fructanos de agave	49
CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS	54

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1.1 Textura de postres comerciales	2
Cuadro 1.2 Contenido de éster sulfato y 3,6-anhídridogalactosa en carragenina	7
Cuadro 1.3 Desnaturalización de proteínas solubles de la leche por diversos tratamientos térmicos industriales	14
Cuadro 2.1 Contenido de grasa y proteína para los diferentes tipos de leche.	25
Cuadro 2.2 Humedad de polvos promedio, $\pm$ desviación estándar y coeficiente de variación (C.V.)	26
Cuadro 2.3 Formulaciones utilizadas para la elaboración de postre lácteo	27
Cuadro 2.4 Formulación con y sin fructanos de agave (FA)	27
Cuadro 3.1 Densidad y pH de las mezclas acuosas elaboradas con carrageninas estandarizadas (CEA y CEB) y refinada (CRC) en leche entera líquida ultrapasteurizada al 0.25%.	32
Cuadro 3.2 Comparación de las diferentes carrageninas al 0.25% en las propiedades texturales de un postre lácteo elaborado con leche entera líquida ultrapasteurizada	34
Cuadro 3.3 Fuerza de gel en postres lácteos elaborados con diferente tipo de carragenina empleando leche ultrapasteurizada (LUHT)	37
Cuadro 3.4 Estabilidad medida a través del porcentaje de sinéresis de los geles Elaborados con diferente tipo de carragenina empleando leche líquida ultrapasteurizada(LUHT)	38
Cuadro 3.5 Propiedades fisicoquímicas de las mezclas acuosas elaboradas con carrageninas estandarizadas (CEA y CEB) a diferentes concentraciones	39
Cuadro 3.6 Propiedades texturales de geles lácteos elaborados con dos tipos de carragenina y diferentes tipos de leche	42
Cuadro 3.7 Propiedades texturales de geles lácteos elaborados con dos tipos de carragenina y diferentes tipos de leche (continuación)	43
Cuadro 3.8 Fuerza de gel en postres lácteos elaborados con diferente tipo de leche.	46
Cuadro 3.9 Estabilidad de los geles lácteos elaborados con diferente tipo de carragenina y diferente tipo de leche	47
Cuadro 3.10 Comparación de propiedades texturales de geles lácteos elaborados con y sin fructanos de agave (FA)	50
Cuadro 3.11 Comparación de fuerza de geles elaborados con y sin fructanos de agave (FA)	51
Cuadro 3.12 Densidad, pH y sinéresis de geles lácteos elaborados con y sin fructanos de agave (FA)	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Tipos de carragenina	3
Figura 1.2 Proceso de extracción de carragenina refinada	5
Figura 1.3 Interacción carragenina-proteína	9
Figura 1.4 Diferencias de carga entre fracciones de caseínas (a). Interacción kappa-carragenina y caseína (b)	11
Figura 1.5 Interacción proteína-polisacárido en medio acuoso	18
Figura 1.6 Diagrama de fases de una mezcla incompatible proteína-polisacárido	19
Figura 1.7 Diagrama típico de un análisis de perfil de textura para un gel	21
Figura 1.8 Representación de los diferentes tipos de resistencia a la deformación	22
Figura 1.9 Gráfica típica de fuerza de gel obtenida al utilizar carragenina refinada (CRC) y leche ultrapasteurizada	23
Figura 3.1 Curvas de perfil de textura obtenidas en la base de postre lácteo con leche líquida ultrapasteurizada y carrageninas (CEA, CEB, CRC) al 0.25%	33
Figura 3.2 Comparación gráfica de fuerza de gel en las tres muestras con carragenina al 0.25% utilizando leche ultrapasteurizada	36
Figura 3.3 Gráficas representativas de perfil de textura obtenidas en el postre lácteo con diferentes tipos de leche: a) leche ultrapasteurizada, b) leche pasteurizada, c) leche con grasa vegetal, d) leche reconstituida	41

## RESUMEN

En los postres lácteos el ingrediente principal es la leche, razón por la cual se consideran fuente de calcio, fósforo y magnesio; otro ingrediente básico para su elaboración es un hidrocoloide gelificante como la carragenina, polisacárido lineal sulfatado obtenido a partir de algas rojas que proporciona diferentes propiedades dependiendo de su estructura, tipo y concentración utilizada. Asimismo, la interacción proteína-polisacárido influye directamente en el proceso de gelificación, la presencia de sinéresis y la textura del postre lácteo. Por ello, en esta investigación se evaluó el efecto de tres diferentes tipos de kappa carragenina comerciales (estandarizada A y B, y refinada C) al 0.25 y 0.30% en cuatro diferentes tipos de leche (entera líquida ultrapasteurizada, entera pasteurizada, reconstituida y leche con grasa vegetal) en las propiedades fisicoquímicas (pH y densidad), texturales (fuerza de gel y análisis de perfil de textura) y sinéresis de una base de postre lácteo; además, se propuso una alternativa en el desarrollo de productos funcionales mediante la incorporación de fructanos de agave. Los resultados obtenidos evidenciaron que los geles elaborados con carragenina estandarizada A al 0.25% en leche pasteurizada presentaron mayor dureza, cohesividad, gomosidad, fuerza de gel, resistencia a la penetración y distancia a la ruptura, así como, los geles con menor sinéresis fueron los elaborados con carragenina estandarizada B y leche reconstituida. Asimismo, la incorporación de fructanos de agave al 10% aumentó la fractura, dureza y gomosidad de los geles lácteos, sin presentar un cambio significativo en la fuerza de gel, la resistencia a la penetración y la distancia de ruptura, además de que disminuyó la sinéresis y aumentó la densidad relativa.

## INTRODUCCIÓN

En la última década, los postres lácteos preparados para consumo directo de larga o media conservación, han despertado un gran interés en la industria de alimentos; para su elaboración se utilizan generalmente cinco ingredientes básicos: agua, sólidos no grasos de leche, grasa, saborizante y gelificante (Verbeken *et al.*, 2006), estos últimos juegan un papel importante, ya que su uso ha permitido la producción de diversos postres con mayor contenido de nutrientes o con efectos benéficos para la salud, además tienen una influencia directa en las propiedades texturales, la calidad y por ende en la aceptación o rechazo del consumidor al que va dirigido (Martínez *et al.*, 2008).

Para su producción se toma como ingrediente básico la leche, por lo que se considera a los postres lácteos una fuente de calcio, fósforo y magnesio. Hoy en día, el mercado ofrece diferentes tipos de leche que se clasifican según su estado físico o por su composición nutrimental, todas obtenidas a partir de modificaciones realizadas a la leche natural como tratamiento térmico y/o eliminación parcial de agua, grasa, carbohidratos y proteínas (Bonet y Serra, 2004). Como ejemplo se tienen: leche pasteurizada, leche ultrapasteurizada, leche en polvo, leche baja en grasa o leche adicionada con grasa vegetal, entre otras. Es importante mencionar que los procesos utilizados para su fabricación modifican las estructuras nativas de las proteínas de la leche, lo que puede conducir a nuevas interacciones proteína-polisacárido y en consecuencia afectar la funcionalidad de ambos durante el proceso de gelificación (Singh, 2011).

En la producción de postres lácteos gelificados como los flanes, el hidrocoloide más utilizado es la carragenina, polisacárido lineal sulfatado obtenido a partir de algas rojas, que proporciona cuerpo y textura dependiendo de su estructura, tipo y concentración utilizada (Williams y Phillips, 2004), estas características influyen ,la presencia de sinéresis y la textura (Blakemore y Harpell, 2010). Existen tres principales tipos de carragenina que se diferencian principalmente por los sitios y

el grado de sulfatación, ya que todas cuentan en su estructura con unidades repetitivas de moléculas de disacáridos de galactosa y anhidrogactosa, unidas a través de enlaces glicosídicos  $\alpha$ -(1,3) y  $\beta$ -(1,4) (Fennema, 2000). Las variaciones de estos componentes en la carragenina influyen durante el proceso de gelificación, en la fuerza de gel, la textura, la solubilidad, la conformación, la temperatura de fusión, la sinéresis y sinergias e interacciones con otros hidrocoloides e ingredientes. Por ejemplo, la carragenina iota genera geles suaves y elásticos, la carragenina kappa interacciona sinérgicamente con polimananos, tales como goma de algarrobo y konjac formando geles fuertes y cohesivos, las mezclas de carragenina iota y kappa con polimananos se utilizan para dar una amplia gama de texturas en geles, finalmente la carragenina lambda no gelifica, pero favorece altas viscosidades (Blakemore y Harpell, 2010).

La interacción de la carragenina con proteínas de la leche ha sido objeto de numerosos estudios debido a que juega un papel importante en las propiedades reológicas y texturales, además de que la concentración mínima requerida para la gelificación es más baja en la leche comparada con otros disolventes (Williams y Phillips, 2004). La interacción proteína-polisacárido proporciona atributos deseables para el producto final, por esta razón además de emplearse en postres lácteos también es utilizada en otros productos como leche con chocolate, helados, leche de soya, queso ricotta, crema batida y fórmulas infantiles. Debido a las variedades de leches comerciales y a los diferentes tipos de carrageninas, la caracterización de las propiedades mecánicas de los postres lácteos se vuelve importante, ya que éstas sirven de base en el diseño de alimentos y pueden dar lugar a la creación de productos gelificados con atributos sensoriales que son decisivos en la elección y la aceptabilidad del producto desarrollado (Bhattacharya y Jena, 2007).

La funcionalidad de la carragenina en la leche se ha atribuido a una interacción específica entre la carragenina y la caseína para formar un complejo que se agrega en una red de gel tridimensional. Esta interacción se debe a la atracción

electrostática entre los grupos sulfato cargados negativamente presentes en la carragenina y una región cargada positivamente presente en la cadena peptídica, la cual se encuentra en la superficie de las micelas de la caseína (Blakemore y Harpell, 2010), además, cationes como  $K^+$  o  $Ca^{2+}$  presentes en la leche influyen en la gelificación de la carragenina.

Por otro lado, los fructanos son carbohidratos de reserva que se encuentran en muchas plantas y son considerados como ingredientes funcionales, debido a sus propiedades prebióticas benéficas para la salud, además se ha reportado que disminuyen el nivel de triglicéridos y colesterol en la sangre e inhiben el cáncer de colon (Mancilla-Margalli *et al.*, 2003). La caracterización de las interacciones entre proteínas lácteas y las carrageninas ha sido ampliamente estudiada, sin embargo, se desconocen los efectos de la incorporación de algún oligosacárido como fructanos de agave a las formulaciones originales, empleando diferente tipo de leches comerciales, que por el proceso de conservación recibido, pudieran presentar alteraciones en la caseína.

Considerando que actualmente la industria alimentaria busca alternativas naturales que proporcionen una alimentación saludable, en este trabajo se evaluó el efecto del tipo de carragenina, tipo de leche y adición de fructanos de agave durante el proceso de gelificación, a través de las propiedades mecánicas y sinéresis desarrollada.

## **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

Los postres lácteos gelificados son sólidos suaves y están formados en su mayoría por polisacáridos solubles en leche combinada con azúcares que forman un producto alimenticio estético y nutritivo dependiendo de su composición. En el proceso final se pueden adicionar colorantes, aromatizantes y edulcorantes, se presentan al consumidor en forma sólida o semisólida de consistencia granulada o cremosa, atributos que dependen en mayor parte de la adición de algún tipo de gelificante como: almidones modificados o carrageninas, entre otros (Martínez *et al.*, 2008). En el Cuadro 1.1 se presentan las características texturales de los diferentes postres lácteos.

### **1.1 Ingredientes en los postres lácteos**

Actualmente en el mercado se encuentran muchos productos elaborados a base de leche que se pueden englobar bajo el nombre de postres lácteos. Los postres lácteos se pueden definir como "preparados cremosos o gelificados de la leche sin acidificar o ligeramente acidificada".

La tecnología de elaboración de estos productos sigue el siguiente procedimiento: se parte de leche a la que se le añaden diferentes ingredientes y aditivos, según el producto que se quiera fabricar, por ejemplo: azúcar, colorantes, aromas y algún agente gelificante, pudiéndose elegir entre huevo, almidones, pectinas, agar o carragenina, siendo esta última la más utilizada en formulaciones de alimentos y/o de la industria farmacéutica debido a sus excelentes propiedades físicas funcionales, tales como, gelificante, espesante y estabilizante (Romero y Lagarriga, 2004).

Cuadro 1.1 Textura de postres comerciales (Rapaille y Vanhemelrijck, 2000)

Tipo de postre	Característica
Pudines instantáneos	Gel débil espeso y pastoso
Flanes de leche gelificada	Geles firmes desde quebradizos a suavemente cremosos
Postres cremosos, natillas	Cuerpo cremoso de fuerte a ligero: la natilla y pudines líquidos pueden presentar consistencia y textura fuerte, compacta y densa, o ligera
Postres multicapa	Capas de geles cremosos y firmes de consistencia y textura fuerte, compacta y densa o ligera con o sin recubrimiento

### 1.1.1 Carragenina

Las carrageninas son polisacáridos hidrófilos lineales de alto peso molecular, presentes en la pared celular y en la matriz intercelular del tejido de varias familias de algas rojas. Se emplean en dispersiones coloidales viscosas o geles en medio acuoso como agentes gelificantes, espesantes y estabilizantes.

El contenido de carragenina en las algas varía de 30 a 60% del peso seco, dependiendo de la especie de alga y de las condiciones marinas tales como luminosidad, nutrientes, temperatura y oxigenación del agua (Fennema, 2000). Se encuentran formadas por la repetición de unidades de galactosa y 3,6 anhidro galactosa (3,6-AG), tanto sulfatadas como no sulfatadas, unidas por enlaces glicosídicos alternados  $\alpha$  1-3 y  $\beta$  1-4. Existen tres tipos de carrageninas: iota, lambda y kappa, utilizadas ampliamente en la industria alimentaria. La diferencia primaria entre ellas es el número y posición de los grupos éster-sulfato sobre las unidades repetitivas de galactosa (Figura 1.1).

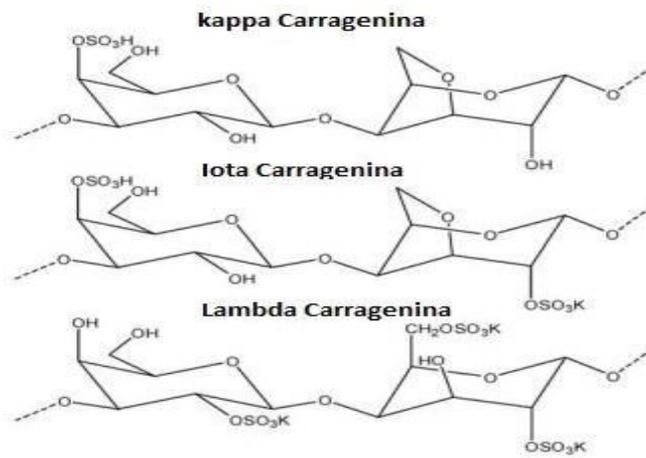


Figura 1.1 Tipos de carragenina (Fennema, 2000).

## Extracción

El proceso de extracción para la producción industrial de carragenina se basa en dos propiedades específicas: su solubilidad en agua caliente y su insolubilidad en solventes orgánicos polares (alcohol, éteres y cetonas). La obtención de la carragenina implica un proceso de varias etapas, siendo las principales la extracción, purificación y secado.

El proceso de extracción inicia con un pretratamiento a las algas que consiste en eliminar la materia extraña presente (piedras y arena), después son trituradas bajo condiciones alcalinas a alta temperatura promoviendo la extracción total del polisacárido, el tratamiento alcalino cumple la función de formar las unidades 3,6 anhidro-α-D-galactosa y 3,6 anhidro-α-D-galactosa 2-carragenina iota y kappa donde ya sólo contienen cerca del 5% de la carragenina.

Esta conversión química confiere el poder gelificante bajo las condiciones de solvente apropiadas; posteriormente el extracto acuoso caliente es filtrado en presencia de tierras diatomeas, en el cual son separados los residuos insolubles

que contienen gran cantidad de material celulósico (Whistler *et al.*, 2012). Se obtiene un jarabe transparente que contiene carragenina disuelta. A continuación, se precipita permaneciendo las impurezas en solución. Se prensa el coágulo, se lava y seca por evaporación bajo presión. Finalmente, se muele para obtener un polvo fino o granulado insípido e inodoro, de color blanco a beige. Este proceso permite alcanzar un producto de alta pureza.

Para la obtención de la carragenina refinada, se solubiliza el alga en una solución alcalina diluida con aplicación de temperatura, posteriormente se realiza el proceso contrario, es decir, lograr la insolubilización de la carragenina para lograr la extracción. En la obtención de la carragenina semirefinada, existe una etapa de solubilización en que los componentes solubles de bajo peso molecular, se separan de las algas y el resto es secado y molido (Whistler *et al.*, 2012).

En la Figura 1.2 se presentan, las diferentes etapas del proceso de extracción de carragenina refinada, mediante las tecnologías de gel prensado y precipitación por alcohol. Ambas líneas de proceso, difieren básicamente en la forma de precipitar la carragenina; sin embargo, esto implica diferencias en el producto obtenido y en los costos, por ello, usualmente en la tecnología de precipitación por alcohol, se concentra el filtrado para disminuir la cantidad de alcohol a utilizar (Whistler *et al.*, 2012).

Tecnología de precipitación por alcohol: El solvente utilizado comúnmente es el alcohol isopropílico. Éste deshidrata la molécula de carragenina, provocando la coagulación de la misma, por lo que es posible utilizar esta tecnología para extraer cualquier tipo de carragenina. Este hecho, también puede ser una desventaja si se desea extraer sólo un tipo de carragenina, para alguna aplicación específica; este tipo de inconvenientes se pueden producir a menudo, cuando las algas utilizadas pertenecen a la familia *Gigartinaceae*, ya que éstas producen carragenina kappa-II y lambda. Otro inconveniente de este proceso, es que implica un mayor costo, aunque éste es recuperado por destilación. Por lo tanto,

previamente a la adición de alcohol se concentra el producto, mediante procesos de filtración o ultrafiltración (Whistler *et al.*, 2012).

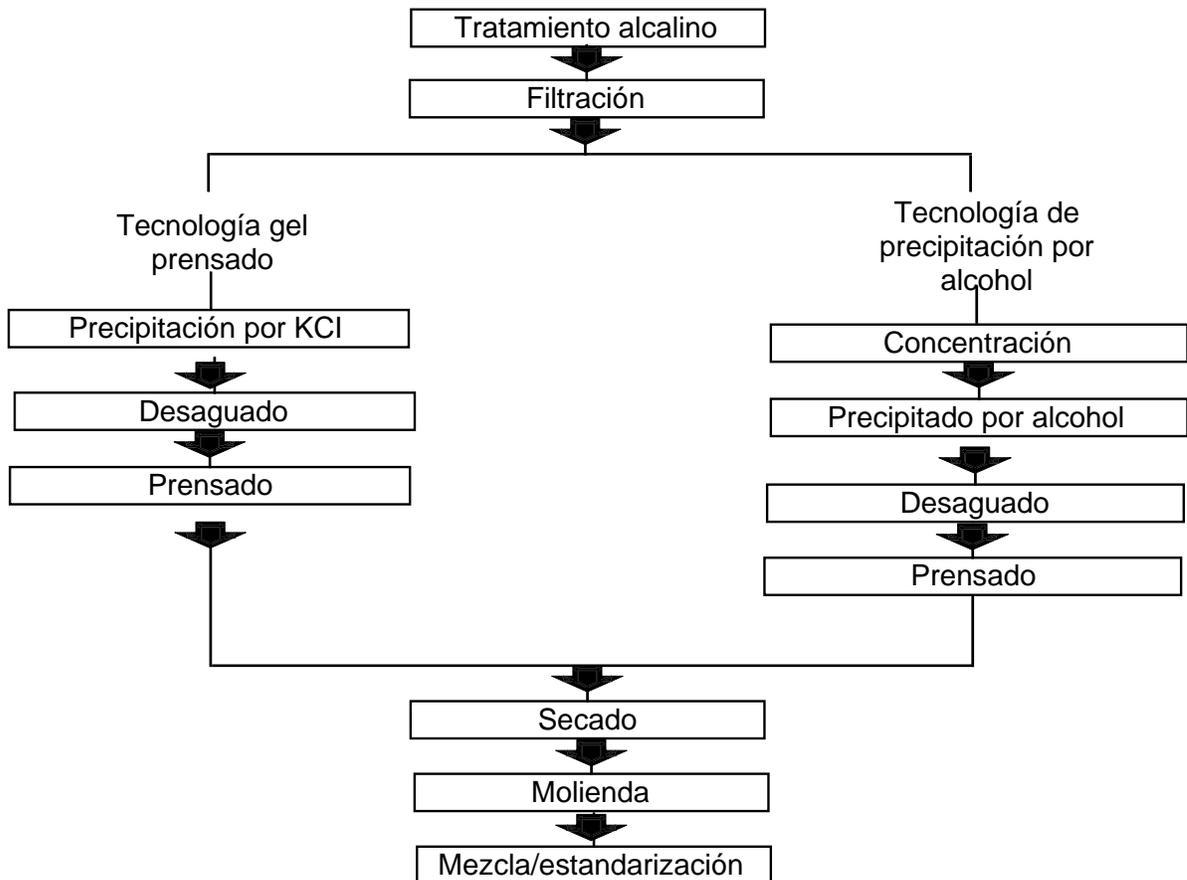


Figura 1.2 Proceso de extracción de carragenina refinada.

La tecnología de gel prensado: es otra forma de obtener carragenina refinada. Consiste en precipitar la carragenina presente en una disolución de alga por medio de una solución de KCl al 15%, eso se logra debido a las interacciones iónicas que se producen entre la carragenina y la sal, lo cual causa una desestabilización de la molécula. En este caso, el gel que se forma es prensado para remover la mayor parte del contenido acuoso antes del secado, por esta razón esta tecnología se denomina “gel prensado”. Según en lo reportado por Whistler *et al.* (2012), este método tiene como limitantes que sólo se puede utilizar

para obtener extractos de carrageninas fuertemente sensibles a los iones de potasio como lo son las carrageninas kappa-I y kappa II, sin embargo, resulta más conveniente desde un punto de vista económico. Las carrageninas comerciales se presentan de acuerdo con el grado de refinación que tengan durante el proceso de elaboración, encontrándose carrageninas refinadas, con un bajo contenido de impurezas y material celulósico, la semirefinada, compuesta de carragenina y otros materiales de la pared celular, y las estandarizadas aquellas a las que se les ha adicionado algún coadyuvante, todas suelen utilizarse indistintamente en productos lácteos.

### **Estructura química**

Las carrageninas son polímeros lineales de unidades repetitivas de moléculas de disacáridos de galactosa y 3,6 anhidrogalactosa, unidas a través de enlaces glicosídicos  $\alpha$ -(1,3) y  $\beta$ -(1,4) a excepción de la carragenina lambda, que sólo está compuesta de unidades de galactosa. Estas moléculas se encuentran parcialmente sulfatadas a través de sales de potasio, calcio y magnesio en diferentes proporciones de acuerdo al tipo de carragenina (Fennema, 2000).

Los principales tipos de carragenina, kappa, iota y lambda, se puede preparar en forma pura mediante técnicas de extracción selectiva a partir de algas específicas. Los tipos de carragenina difieren principalmente en el contenido y posición de grupos 3,6 anhidro galactosa y grupos sulfatos como lo muestra el Cuadro 1.2. Dichos grupos afectan la solubilidad de las mismas debido a que el primer grupo presenta características hidrofóbicas y los grupos sulfatos propiedades hidrofílicas, por lo tanto, la solubilidad dependerá del contenido y distribución de ambos. Estas pequeñas variaciones en el contenido y posición de los grupos sulfatos generan diferencias en su funcionalidad y capacidad en la formación de dispersiones, por lo que a mayor nivel de éster sulfato, menores serán la fuerza de gelificación y la temperatura de solubilización.

Los grupos sulfato influyen en la fuerza de gel, la textura, la solubilidad y las temperaturas de fusión, sinéresis, sinergias e interacciones con otros hidrocoloides e ingredientes, estas diferencias suelen ser controladas durante la selección y las condiciones de procesamiento de algas o por la mezcla de diferentes extractos. La presencia de unidades de 3,6 anhidro galactosa en la estructura de las carrageninas contribuye a un aumento en la hidrofobicidad de las moléculas, lo cual permite la formación del gel (Alarcón-Ulloa, 2003).

Cuadro 1.2 Contenido de éster sulfato y 3,6-anhidro galactosa en carrageninas (Alarcón-Ulloa, 2003).

<b>Tipo de carragenina</b>	<b>Contenido de éster sulfato (%)</b>	<b>Contenido de 3,6 anhidro galactosa (%)</b>
Kappa I	24-25	40
Kappa II	25-28	32-34
Iota	30-32	28-31
Lambda	35	0

Un alto contenido de 3,6-anhidro galactosa implica una mayor fuerza y extensión de las zonas de unión, debido a esto, la textura del gel de carragenina kappa I es firme y quebradiza en agua con alta tendencia a la sinéresis. Los geles de carragenina kappa II, en cambio, al tener un menor contenido de 3,6 anhidro galactosa, tienen la característica de formar geles firmes y elásticos en agua y leche con moderada sinéresis. Posee una muy alta reactividad con las proteínas lácteas y requiere de aproximadamente 71 °C para su completa disolución, su viscosidad es mayor que carragenina kappa I dado su mayor peso molecular (Makymat, 2018).

La carragenina Iota forma geles de textura muy elástica en agua y leche con baja sinéresis, debido a que posee mayor cantidad de grupos sulfato que permiten la formación de una estructura más flexible. La carragenina lambda, en cambio, no gelifica debido a la ausencia de 3,6-anhidro galactosa y a la gran cantidad de

grupos sulfato que tienden a mantener las moléculas apartadas (Solís-Bravo, 2007).

Generalmente, las carrageninas comerciales son mezclas más o menos enriquecidas de uno u otro de estos tipos de carragenina, y de acuerdo al proceso de producción de la carragenina es que pueden ser de tipo semirefinado o refinado. Entre más refinadas sean, el gel que se obtenga a partir de esa carragenina será más transparente. El uso de cada una de las carrageninas imparte diferentes características de textura y fuerza de gel dependiendo de la fracción utilizada, la concentración, a partir de un valor mínimo (necesario para la formación de la estructura del gel), ya que la fuerza del gel aumenta progresivamente al aumentar la concentración, los cationes presentes en la solución, sobre todo para la fracción kappa, su naturaleza y concentración (especialmente  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{K}^+$ ) influyen en la fuerza de gel y pH (Luquet, 1993).

Las carrageninas son capaces de originar, por disociación, la aparición de fuerzas de repulsión en las cuales tienen una notable importancia la presencia de iones durante la formación de un sistema gelificado. Estas características estructurales determinan propiedades como solubilidad (más baja en moléculas lineales y más elevada en las ramificadas) y su comportamiento en medio acuoso, el cual depende del tipo de conformación que adquieren y el volumen hidrodinámico que ocupan (Boatella-Riera *et al.*, 2004).

La carragenina forma geles termorreversibles bajo las diferentes condiciones de solvente y ciclos de calentamiento y enfriamiento apropiados. Durante el proceso de calentamiento la solución presentará un aumento en su viscosidad debido al desenrollamiento de las moléculas de carragenina con la subsecuente ligadura del hidrógeno a las moléculas de agua en el medio. La ligadura de agua disminuye la cinética del sistema lo que resulta en un aparente aumento de viscosidad. Un calentamiento posterior agregará suficiente energía al sistema causando el rompimiento de los enlaces de hidrógeno, liberando de este modo las

moléculas de agua en la solución y se producirá una pérdida aparente de viscosidad asegurando la completa solubilización de la carragenina.

Durante el enfriamiento, bajo la temperatura de gelificación, fracciones de moléculas de carragenina forman la doble hélice enfocando el grupo 4-sulfato hacia el interior de las mismas como en los sistemas de agua, pero la interacción. caseína/kappa-carragenina refuerza esta red y como resultado, la cantidad necesaria de carragenina para gelificar un sistema lácteo es menor que la cantidad necesaria para gelificar un sistema de agua. La fuerte electronegatividad produce el rechazo de ambas hélices siendo neutralizados por iones potasio en el caso de las kappa carrageninas y por iones calcio cuando se trata de iota carragenina, ya que estos iones, actúan produciendo puentes electrostáticos de forma ordenada, entre los dímeros de doble hélice cargados negativamente, con lo cual se contribuye a disminuir la entropía del sistema, de esta manera, las cadenas de carragenina adoptan una estructura más ordenada, causando la agregación de los polímeros y por consiguiente, ayudan a formar un gel de textura más firme (Alarcón-Ulloa, 2003).

### **Interacciones**

Probablemente, la interacción más conocida es la de carragenina con proteínas lácteas. La leche fresca contiene alrededor de 3.3% de proteína, de la cual el 80% se encuentra en forma de caseínas (alfa, beta y kappa) y 0.70% de minerales como calcio y sodio (Milke-Garcia y González-Saravia, 2016). La interacción depende del pH, ya que la k-caseína por arriba de su punto isoeléctrico (4.7) presenta carga eléctrica negativa y por debajo carga eléctrica positiva. Por lo tanto, es posible que a pH neutro la interacción se dé gracias a la formación de puentes de calcio, mientras que a pH moderadamente ácido sea directa por carga eléctrica opuesta. Además de lo anterior es posible la formación de puentes de hidrógeno, como se muestra en la Figura 1.3 (Gelymar, 2017).

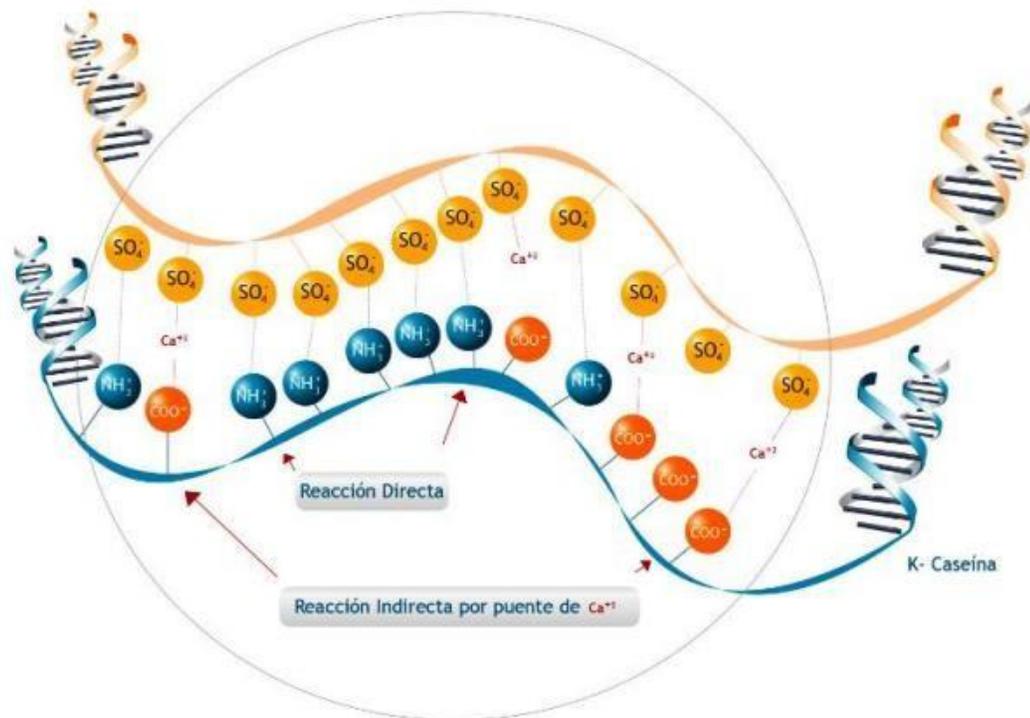


Figura 1.3 Interacción carragenina-proteína (Gelymar, 2017).

La capacidad de las carrageninas para reaccionar con las proteínas de la leche, depende de múltiples factores, tales como: concentración de carragenina, pH, tipo y punto isoeléctrico de la proteína, así como de las propiedades intrínsecas de estas últimas; hidrofobicidad, interacciones electrostáticas, enlaces disulfuros, masa molecular y composición (Martínez, 2010).

Algunos de los primeros usos de carragenina fueron en geles de leche y flanes, leche evaporada y mezclas para preparar helado, donde el sinergismo entre carragenina y proteínas de leche (caseínas) permite niveles de uso tan bajos como 0.01%. En estas aplicaciones, la carragenina kappa no sólo forma un gel débil en la fase acuosa, sino que también construye una estructura adicional interactuando directamente con los aminoácidos cargados positivamente e indirectamente a través de cationes divalentes, con aminoácidos de carga negativa de las proteínas presentes en la superficie de las micelas de caseína (Blakemore y Harpell, 2010).

El uso más extendido de carragenina es en la estabilización de los aminoácidos, donde influyen la concentración de proteínas, pH y fuerza iónica, así como la temperatura durante la gelificación. La interacción carragenina kappa y caseína se ilustra en la Figura 1.4, en ésta se muestran las diferencias de carga entre las fracciones de caseína. La carragenina es capaz de evitar la separación y también generar una red estabilizadora que puede mantener partículas en suspensión, inclusive a niveles muy bajos de concentración de carragenina (Blakemore y Harpell, 2010).

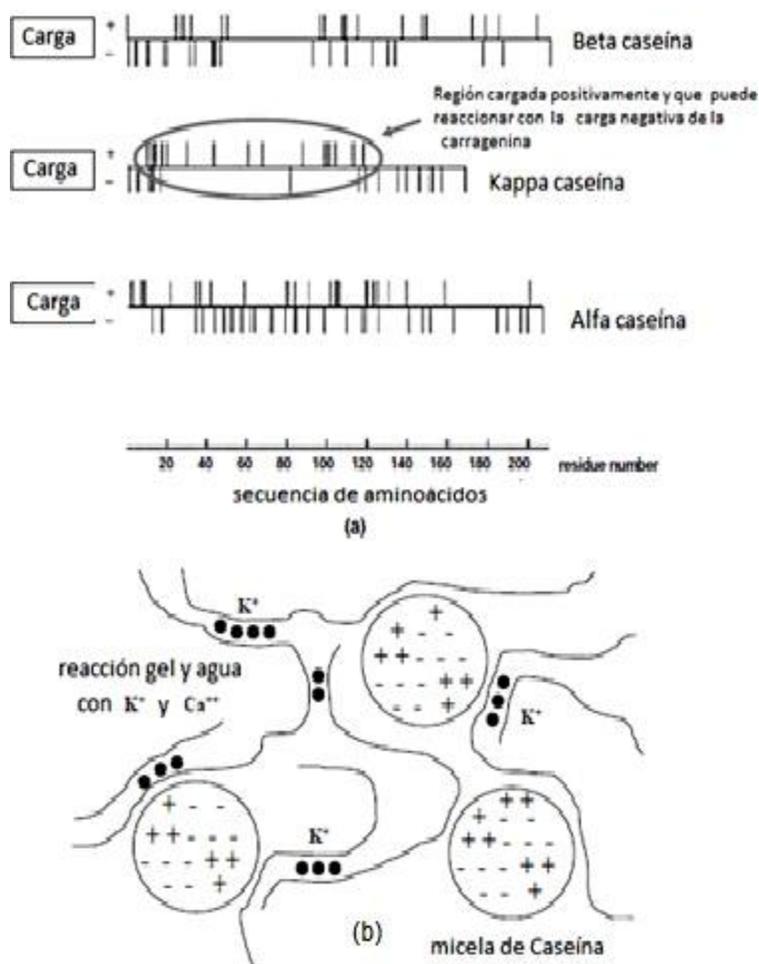


Figura 1.4 Diferencias de carga entre fracciones de caseínas (a). Interacción kappa-carragenina y caseína (b) (Blakemore y Harpell, 2010).

Las caseínas son las principales proteínas de la leche y suponen entre el 75 y 80% de las proteínas lácteas, están constituidas por varios tipos de fracciones (las  $\beta$  y  $\kappa$ -caseína); en la leche y en presencia de fosfato de calcio, se agregan entre sí y forman partículas esféricas en suspensión coloidal con un alto grado de organización estructural (micelas de caseína).

Sus características principales son su capacidad para precipitar hasta un pH 4.6 a temperatura ambiente y su insolubilidad por calentamiento a 100 °C. Si se estudia la estructura de las micelas de caseína se observa que están constituidas por submicelas, agregados más o menos esféricos de 25-30 moléculas en proporciones variables de  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\kappa$  caseínas. Dentro de cada submicela, la  $\alpha_s$  y  $\beta$  caseínas, de carácter insoluble, se sitúan en el centro o núcleo hidrófobo, mientras que las  $\kappa$  caseínas de naturaleza hidrofílica, se sitúan en la superficie. La estructura de las micelas es porosa, no muy compacta, y poco resistente a las agresiones exteriores, por lo que puede verse fácilmente atacada por enzimas y/o por iones hidrógeno, dando lugar a su desestabilización (floculación) (Rodríguez-Rivera, 2008).

### **1.1.2 Azúcar**

El azúcar es el producto cristalizado obtenido de la caña de azúcar, o remolacha azucarera que ha sido sometida a un proceso de extracción para separar los cristales de azúcar del jarabe y se utiliza como endulzante 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 seguido de una nueva cristalización (Gil, 2010). Físicamente se puede describir como: sustancia sólida, blanca, cristalizada, soluble en agua y/o leche, que unido a sus propiedades endulzantes, la hacen ser el endulzante óptimo en la fabricación de postres lácteos (Boatella-Riera *et al.*, 2004).

### **1.1.3 Leche**

La leche es el ingrediente principal en la elaboración de postres lácteos, se puede definir como una mezcla de proteínas, grasas, carbohidratos, sales y agua en equilibrio dinámico. Dichos compuestos se encuentran en suspensión coloidal, en emulsión o en solución. Los diferentes tipos de leche que se encuentran en el mercado (entera, ultra pasteurizada, pasteurizada, en polvo o adicionada con grasa vegetal) son el resultado de la alteración en la composición y el estado físico de la leche y son utilizados comúnmente para satisfacer los contenidos mínimos requeridos por las normas vigentes. Por ejemplo, el contenido de grasa o la adición de proteínas (caseinatos) permiten resolver algunos problemas de variación y elevar rendimientos, tanto el contenido de grasa y el de proteínas puede tener una influencia en la calidad del producto que se elabore, además, los cambios producidos durante el calentamiento suelen afectar algunas propiedades como: viscosidad, capacidad de espumado, intensidad del color y sabor (Alais, 1985).

Las proteínas se desnaturalizan cuando son sometidas a temperaturas superiores a 56 °C durante 30 minutos, lo cual se traduce en una desestabilización y activación de grupos sulfhidrilo (-SH). El calentamiento provoca la agitación de las moléculas de proteínas que tienen carácter globular. Dicha agitación aumenta con la temperatura y provoca la ruptura de enlaces secundarios que unen las cadenas polipeptídicas produciendo cambios en la estructura nativa. Por lo tanto, se desenrollan y como consecuencia, los grupos apolares que estaban dirigidos hacia el interior de la molécula proteica se encuentran en posición externa, mientras que los grupos polares pueden asociarse con la transferencia de agua de la molécula disolvente.

Todos estos fenómenos conducen a una disminución de la solubilidad de la proteína (Sarria-Ruiz, 1998). La desnaturalización de las proteínas es más importante cuanto más alta sea la temperatura utilizada en el procesamiento industrial como lo indica el Cuadro 1.3.

Cuadro 1.3 Desnaturalización de proteínas solubles de la leche por diversos tratamientos térmicos industriales (Sarria-Ruiz,1998).

<b>Condiciones de calentamiento</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Proteínas solubles desnaturalizadas (%)</b>
63 °C, 30 min	Pasteurización baja	Despreciable
72 ° C, 15-20 s	Pasteurización HTST	Despreciable
80 ° C, 1 min	-	20%
145 °C, 1-2 s	Calentamiento UHT	60%
80 °C, 30 min	-	90%

El comportamiento de la leche sometida a calentamiento está en función no solamente de la temperatura sino también de la duración del calentamiento. Cuando la leche se calienta tienen lugar una serie de reacciones importantes, entre ellos. Se ha reportado que el pH disminuye como consecuencia de la ruptura de lactosa dando lugar a formas ácidas. Las caseínas se desfosforilan parcial o totalmente, las caseínas se disocian de las micelas, se producen interacciones entre las proteínas séricas y la k-caseína de la superficie de micelas. Por lo tanto, el calentamiento de la leche implica numerosas consecuencias, como modificaciones de la estabilidad de la solución coloidal y de la emulsión de la grasa, del color y sabor, como sus correspondientes repercusiones nutricionales (Sarria-Ruiz,1998).

El proceso de pasteurización determina la desnaturalización de una parte de las proteínas solubles, siendo este fenómeno proporcional a la intensidad del tratamiento. En la leche pasteurizada no se observa ninguna disminución de la calidad nutricional de las proteínas en relación a la leche cruda. Sin embargo, el tratamiento a alta temperatura por tiempos cortos (UHT por sus siglas en inglés) determina pérdidas del contenido en lisina del orden del 0.1-1%, que carecen de significado nutricional. Estas pérdidas se elevan al 2-5% en la leche esterilizada (Romero y Lagarriga, 2004). Durante el procesado de la leche para su

transformación en leche en polvo, ésta sufre una serie de tratamientos que pueden resultar dañinos para las proteínas. Del mismo modo, la leche sufre una serie de tratamientos previos, que incluyen tratamientos térmicos, antes del procesamiento propiamente dicho, ya sea para su conservación o higienización. Con el propósito de conservar lo más fielmente posible las propiedades físicas, estructurales y organolépticas de la leche original,

#### **1.1.4 Mantequilla**

La mantequilla es una emulsión que se forma a partir de la grasa de la leche y que contiene al menos un 82% de grasa. Para su elaboración se bate la nata o crema hasta formar grumos: éstos se amasan en agua fría para eliminar el suero sobrante, a continuación se moldean y se empaquetan, la calidad de las mantequillas la determinan; el aspecto, la textura, la consistencia, olor y el sabor de las mismas (Gil, 2010). La función que tiene en la elaboración del postre lácteo es la de compensar el contenido de grasa presente en la leche entera pasteurizada y que por algunas razones propias del proceso de secado se pierden durante la obtención de la leche reconstituida además de aportar cremosidad al postre (Moral-Garrido 2013).

#### **1.1.5 Sal**

La sal es una sustancia blanca, cristalina, de sabor propio bien señalado, soluble en agua, la sal es un compuesto iónico cuya fórmula química es NaCl. Por cada gramo de sal, alrededor de 40 por ciento (39.337%) se compone de sodio (Na) y cerca de 60 por ciento (60.663%) es cloruro (Cl) (AMISAC, 2017). En la elaboración de productos lácteos se utiliza para mejorar el color, textura y sabor de estos preparados, además ayuda a potencializar el sabor del azúcar.

#### **1.1.6 Fructanos de agave**

De acuerdo con el tipo de enlace y estructura, los fructanos se clasifican en inulinas (cadena lineales de fructosa enlaces  $\beta$ -2,6); graminanos (cadenas ramificadas de fructosa unidas por enlaces  $\beta$ -2,1 y  $\beta$ -2,6); neoserias de inulina

(cadenas lineales de fructosa unidas por enlaces  $\beta$ -2,1 con un residuo de glucosa intercatenario); neoserias de levano (cadenas lineales de fructosa unidas por enlaces  $\beta$ -2,6 con un residuo de glucosa intercatenario) y agavinas (una cadena lineal de fructosa unida por enlaces  $\beta$ -2,1 a un residuo intercatenario de glucosa, unido a cadenas ramificadas de fructosa unidas por enlaces  $\beta$ -2,1 y  $\beta$ -2,6 (Mancilla-Margalli *et al.*, 2003)

Los fructanos de agave son un grupo de polisacáridos no reductores conformados por unidades de fructosa, unidos por enlaces  $\beta$ , los cuales pueden contener o no un residuo de glucosa (Chacón-Villalobos, 2006). El efecto de su adición sobre las propiedades reológicas, texturales, sensoriales y de estructura en un yogur batido reducido en grasa depende de la concentración de los mismos, además, se observó que tienden a depositarse en la superficie de las micelas de caseína fortaleciendo la red tridimensional formada, disminuyendo la sinéresis (Crispín-Isidro *et al.*, 2015).

Se ha estudiado que las plantas de agave acumulan oligosacáridos de reserva que se encuentran presentes en un 15% en otras plantas; sin embargo, en los agaves constituyen casi el total de los carbohidratos, por lo que su importancia se potencia. Es sabido que la síntesis se lleva a cabo en las hojas, pero se transporta hacia los tallos de las plantas, en donde se acumula y de ahí es suministrado de acuerdo con las demandas energéticas de la planta. Además de la importancia fisiológica de los fructanos en los agaves (FA), éstos son la fuente de azúcares fermentables en el proceso de elaboración del tequila. Éstos mismos fructanos presentan varios aspectos benéficos para la salud humana, entre los que se pueden mencionar: efecto bifidogénico, poder anticancerígeno, mejora del sistema inmune, aumento de adsorción de minerales, entre otros (López, 2016). Se ha demostrado que la estructura que presentan los fructanos de agave son del tipo de las agavinas, es decir, poseen una configuración ramificada a diferencia de la configuración lineal presente en la inulina de achicoria, lo que les podría otorgar diferentes propiedades y aplicaciones tecnológicas en la industria

alimentaria y en otro tipo de industrias (Ponce *et al.*, 2008).

## **1.2 Interacción proteína-polisacárido**

Las proteínas y los polisacáridos son ingredientes comunes presentes en muchas formulaciones de alimentos. El estudio de sus interacciones tiene relevancia debido a que el conocimiento y control de las interacciones entre dichos componentes es un factor clave para el desarrollo de nuevos productos o ingredientes alimentarios, esta interacción macromolecular puede afectar las propiedades finales de los productos, por lo general son responsables de impartir textura y atributos sensoriales además son capaces de modificar la estabilidad de las fases en sistemas coloidales debido a que impactan profundamente en la estructura y funcionalidad de los geles (Kelvin *et al.*, 2014). En condiciones particulares del medio y dependiendo de la distribución de los diferentes grupos (hidrofóbicos cargados, enlaces puentes de hidrógeno, etc.) las interacciones entre las moléculas proteicas y las moléculas de polisacáridos pueden ser atractivas (formación de complejos) o repulsivas (González *et al.*, 2005).

Debido a sus propiedades de agregación y gelificación, la interacción entre proteínas y polisacáridos en medio acuoso, pueden generar alguno de los cuatro comportamientos que se representan en la Figura 1.5. Se pueden clasificar como atracciones repulsivas aquellas que provocan la segregación de las moléculas debido a la inestabilidad del sistema, efecto de la exclusión por volumen o interacciones electrostáticas y tienden a ser débiles, excepto a muy corta distancia o muy baja fuerza iónica, y las interacciones atractivas responsables de la formación de complejos insolubles y solubles, resultado de interacciones débiles entre grupos en los biopolímeros, tales como fuerzas de Van der Waals, enlaces de puentes de hidrógeno, e interacciones hidrofóbicas y algunos efectos de entropía (Benichou *et al.*, 2002). Estos fenómenos pueden explicarse de la siguiente manera: Las interacciones repulsivas pueden dar a lugar a la co-solubilidad de proteínas y polisacáridos para soluciones muy diluidas, o bien puede darse un sistema inestable donde las mezclas de biopolímeros tienden a la

segregación.

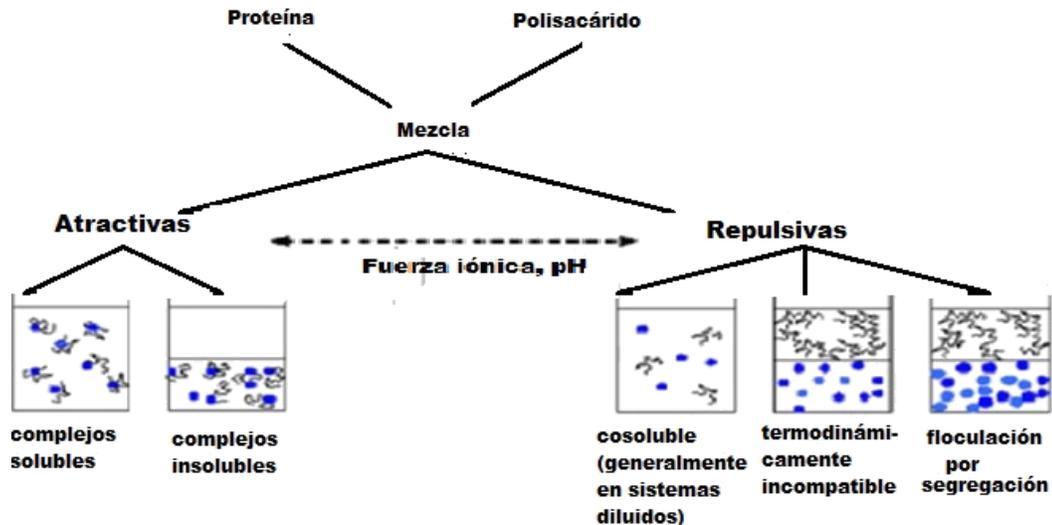


Figura 1.5 Interacción proteínas-polisacárido en medio acuoso (Benichou *et al.*, 2002).

Alternativamente puede darse el acomplejamiento entre ambas especies, debido a la interacción electrostática atractiva entre las partes cargadas positivamente de la proteína y las cargas negativas del polisacárido. Estos complejos electrostáticos podrán ser a su vez solubles o insolubles. Los complejos insolubles conducen a una separación de fases de la mezcla en dos capas líquidas: una fase concentrada en los dos polímeros y la otra fase conteniendo principalmente solvente. Tal proceso es llamado coacervación compleja. Las interacciones atractivas y repulsivas entre proteínas y polisacáridos dependerán además de factores tales como el pH y la fuerza iónica del sistema. Por encima del punto isoeléctrico de las proteínas y con polisacáridos aniónicos, en general ocurrirán interacciones repulsivas, mientras que por debajo del punto isoeléctrico ocurrirán interacciones atractivas (Gaspoz, 2008).

En el diagrama de fases para una mezcla incompatible de proteína–polisacárido (Figura 1.6), la curva binodal separa la región de cosolubilidad de la región de separación de fases. Cuando la composición del sistema respecto a los dos componentes (proteína-polisacárido) se encuentra por debajo de la curva binodal, el sistema permanece como una fase homogénea (B). Sin embargo, cuando la composición de un sistema se encuentra por encima de la curva binodal, es inestable y se separa espontáneamente en dos fases, una rica en proteína y la otra en polisacárido (A). Los efectos de volumen excluido determinar la ocupación de espacio de la solución por las macromoléculas y su umbral de separación de fases, que es generalmente por debajo del porcentaje en peso en mezclas de proteína-polisacárido.

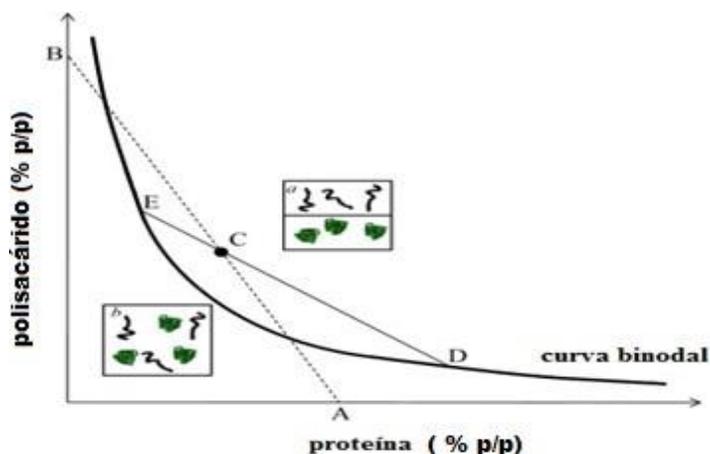


Figura 1.6 Diagrama de fases para una mezcla incompatible proteína-polisacárido (Benichou *et al.*, 2002).

Los complejos proteínas–polisacáridos pueden ser considerados como ingredientes alimentarios por si mismos teniendo propiedades funcionales características, por lo que sería necesaria una mayor información para comprender correctamente como las propiedades funcionales de estos complejos que pueden ser optimizadas en formulaciones de ingredientes y en alimentos que estén sometidos a un amplio intervalo de condiciones de procesamiento (Dickinson,1998).

### **1.3 Textura de postres lácteos**

Las propiedades texturales son representadas por una serie de características mecánicas, geométricas y de composición, que pueden ser primarias cuando se relacionan con una propiedad (fuerza, deformación o energía) o secundarias cuando es una combinación de las anteriores. Todas ellas están vinculadas al modo de reaccionar de un alimento frente a fuerzas que pueden ser medidas con texturómetros (Bello-Gutiérrez, 2000).

Debido a que en la práctica no existe una definición de lo que debe ser una textura deseable, ya que es una característica particular de cada alimento, la caracterización de la textura de geles se vuelve importante debido a que la firmeza es probablemente el término más conocido para este tipo de alimento y depende directamente de varios factores como: tipo de agente gelificante, concentración utilizada, pH de la fase acuosa, temperatura y tipo de enlaces presentes en su estructura.

#### **1.3.1 Perfil de textura**

La resistencia del gel a la deformación, puede obtenerse a partir del perfil de textura. En tal prueba, una muestra de tamaño estándar es colocada en una placa base para ser comprimida y descomprimida dos veces por una placa superior unida al sistema de accionamiento (simulando la masticación). Al graficar la fuerza en función del tiempo se pueden obtener los siguientes parámetros texturales medibles y específicos para geles: dureza, elasticidad, cohesión, masticabilidad y gomosidad (Cui, 2005) como lo muestra la Figura 1.7

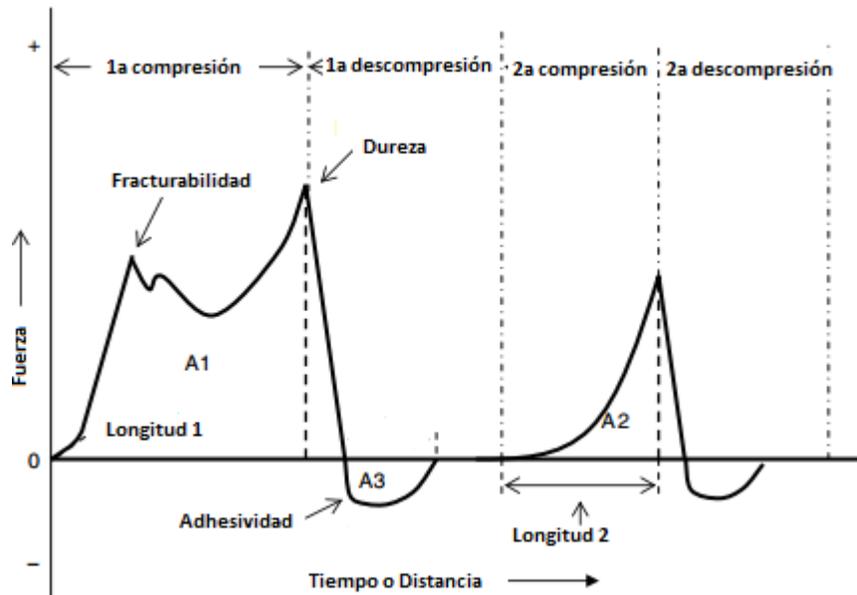


Figura 1.7 Diagrama típico de un análisis de perfil de textura para un gel (Cui, 2005).

Los parámetros obtenidos a partir de este gráfico son los siguientes (Cui, 2005):

**Fracturabilidad:** es la primera caída significativa de la curva durante el primer ciclo de compresión del producto, hace referencia a la dureza con la cual el alimento se desmorona, cruje o se rompe. La fracturabilidad se expresa en unidades de fuerza (N)

**Dureza:** fuerza máxima necesaria para conseguir en el alimento una deformación determinada, se origina durante el primer ciclo de compresión y se expresa en unidades de fuerza (N). Representa la resistencia que opone un material a ser comprimido.

**Cohesividad:** representa la fuerza que mantiene unidos los enlaces internos que existen entre las distintas partículas que integran un alimento, representa el límite hasta el cual se puede deformar el alimento antes de ser fracturado. Es adimensional.

**Elasticidad:** es la altura que recupera el gel al término de la compresión del primer ciclo y el inicio de las compresión del segundo ciclo sobre la distancia de compresión. Mide cuanta estructura original del alimento se ha roto por la compresión inicial. Es adimensional

**Gomosidad:** es la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido hasta

que esté apto para su deglución, se expresa en unidades de fuerza (N).

### 1.3.2 Fuerza de gel

Otro parámetro textural importante en la caracterización de geles alimenticios es la fuerza de gel, en general, la resistencia de un material a la deformación se puede resumir en tres tipos como se muestra en la Figura 1.8.

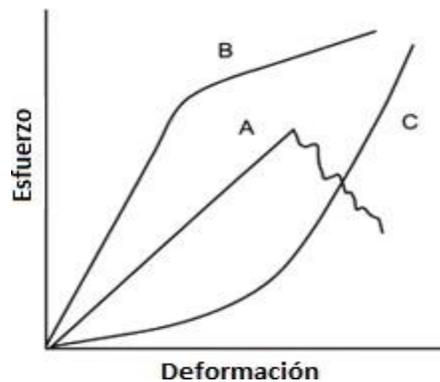


Figura 1.8 Representación de los diferentes tipos de resistencia a la deformación (Cui, 2005).

El tipo A tiene una deformación elástica inicial seguido de un fallo importante en la estructura, tipo B muestra la deformación elástica inicial, pero el daño estructural permanente comienza a ocurrir una vez que el esfuerzo es superior a su límite de elasticidad, y tipo C tiene una curva en forma de J, es inicialmente fácilmente deformable, pero se vuelve difícil de deformar a altas tensiones (Cui, 2005). En la Figura 1.9 se muestra la gráfica representativa de fuerza en función del tiempo cuando se realiza una prueba de penetración en un gel para determinar la fuerza del mismo, de esta curva se pueden extraer tres datos importantes. La resistencia; representado por la pendiente inicial de la curva (R) indica la resistencia ofrecida por el semisólido a la penetración, entre más duro sea el material, mayor será la fuerza necesaria para alcanzar la fractura de la muestra y la fuerza de gel definida como la fuerza requerida para romper un semisólido, en la gráfica se representa como el punto máximo positivo (F). En este tipo de gráfico también se determina la distancia a la que ocurre la fractura (D).

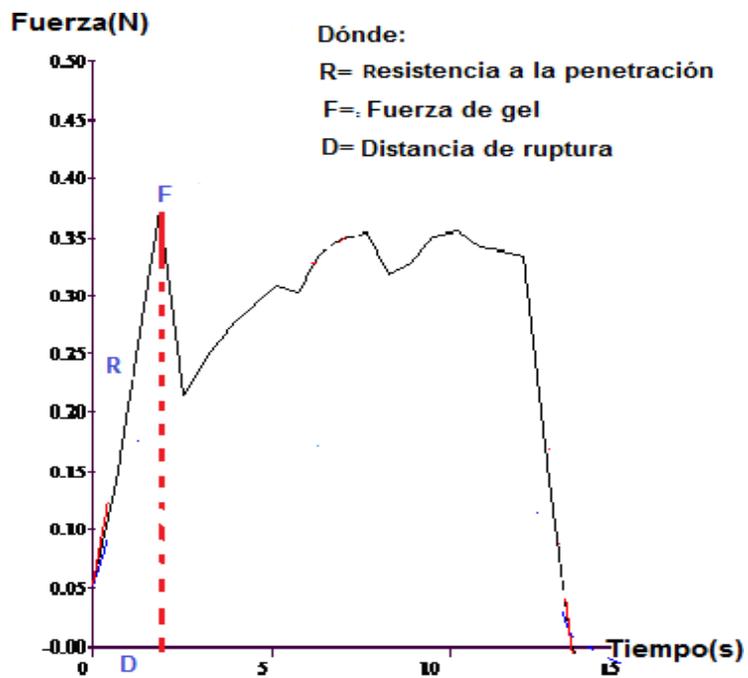


Figura 1.9 Gráfica típica de fuerza de gel obtenida al utilizar carragenina refinada (CRC) y leche ultrapasteurizada.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 2.1 Objetivos

#### Objetivo general

Evaluar el efecto del tipo de carragenina y tipo de leche en las propiedades fisicoquímicas, texturales y sinéresis de una base de postre lácteo gelificado con o sin fructanos de agave, proporcionando alternativas en el desarrollo de productos funcionales.

#### Objetivos particulares

- 1) Determinar el pH y densidad de la fase acuosa del gel lácteo como medida de control del producto para elaborar las formulaciones en base seca.
- 2) Determinar el efecto del tipo de kappa carragenina (estandarizada A y B, y refinada C) en las propiedades texturales (fuerza de gel, perfil de textura) y sinéresis de una base de postre lácteo gelificado con leche entera ultrapasteurizada, seleccionando la que produzca el gel más estable respecto a sinéresis.
- 3) Determinar el efecto del tipo de leche (entera líquida ultrapasteurizada, entera líquida pasteurizada, reconstituida y leche líquida adicionada con grasa vegetal), empleando dos tipos de carragenina (estandarizada A y B) en las propiedades texturales (fuerza de gel, perfil de textura) y sinéresis de una base de postre lácteo gelificado, seleccionando el gel más estable con base a sinéresis.
- 4) Determinar el efecto de la adición de fructanos de agave en las propiedades texturales y sinéresis de una base de postre lácteo gelificado empleando un sólo tipo de carragenina, en un sólo tipo de leche como propuesta de producto funcional.

### 2.2 Materiales

Para la elaboración de una base de postre lácteo gelificado se utilizaron cuatro diferentes tipos de leche; leche entera líquida ultrapasteurizada y leche entera líquida pasteurizada, ambas de marca Alpura, leche en polvo (“La Suiza”)

reconstituida (9.10% de sólidos totales) y mantequilla al 3.74% (Gloria), leche con grasa vegetal (Nutrileche), tres diferentes tipos de carragenina; estandarizada A al 0.25% (Carralact PPD 5666, Gelymar) denominada CEA, estandarizada B al 0.30% (Carralact PPD 5447, Gelymar) denominada CEB y refinada C sin estandarizar al 0.25% (Carralact DGU 5419, Gelymar) denominada CRC, sal refinada (La Fina), azúcar estándar (Zulka), fructanos de agave al 10% (Inulina orgánica, Mieles Campos Azules), agua E-pura (Pepsico).

En el Cuadro 2.1 se describen el contenido de proteínas y lípidos según lo reportado en las etiquetas de cada uno de los diferentes tipos de leche estudiada.

Cuadro 2.1 Contenido de grasa y proteína para los diferentes tipos de leche.

<b>Tipo de leche</b>	<b>Contenido de grasa (%)</b>	<b>Contenido de proteína (%)</b>
Leche entera ultrapasteurizada (LUHT)	3.4	3.1
Leche líquida pasteurizada (LPAS)	3.4	3.1
Leche en polvo, reconstituida en el laboratorio (LRC)	3.4	3.1
Leche con grasa vegetal (LGV)	7.5	5.5

## **2.3 Métodos**

### **2.3.1 Determinación de humedad en polvos**

La determinación de la humedad de los polvos para los diferentes tipos de carrageninas (CEA, CEB, CRC), leche reconstituida (LRC) y fructanos de agave (FA) se realizó en una termobalanza, modelo MB45, marca Ohaus, en 1 g de muestra a una temperatura de 100 °C durante 10 minutos. Se basa en el principio gravimétrico, para ello una fuente de calor halógena seca la muestra mientras la balanza integrada mide continuamente la pérdida de peso de la misma. La humedad se calcula en porcentaje automáticamente a partir de la diferencia entre

el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra seca (Ohaus, 2001). En el Cuadro 2.2 se muestra la humedad de los polvos utilizados para este estudio: las diferentes carrageninas estandarizadas (CEA y CEB) y carragenina refinada (CRC), leche reconstituida (LRC) y fructanos de agave (FA) y azúcar. Estos datos se emplearon para realizar balances de materia en base seca y posteriormente establecer la concentración de las dispersiones en peso/peso.

Cuadro 2.2 Humedad de polvos promedio, desviación estándar y coeficiente de variación (C.V.).

<b>Muestra</b>		<b>Humedad (%)</b>
CEA	<b>X</b>	<b>5.63</b> ±0.20
	C.V. (%)	4.0
CEB	<b>X</b>	<b>7.50</b> ±0.40
	C.V. (%)	5.0
CRC	<b>X</b>	<b>9.28</b> ±0.10
	C.V. (%)	2.0
LRC	<b>X</b>	<b>3.74</b> ±0.03
	C.V. (%)	1.0
FA	<b>X</b>	<b>3.83</b> ±0.07
	C.V. (%)	2.0
Azúcar	<b>X</b>	<b>1.86</b> ±0.10
	C.V. (%)	2.0

### 2.3.2 Formulación para la base de postre lácteo

Se utilizó una formulación proporcionada por la empresa que distribuye los estabilizantes (Gelymar, 2016) (Cuadro 2.3), para el desarrollo de la base para postre lácteo gelificado utilizando carragenina Carralact como agente gelificante. En el mismo cuadro se muestran las distintas formulaciones empleadas sin la utilización de fructanos de agave con la variación en las concentraciones de carragenina estandarizada A (CEA), carragenina refinada (CRC) al 0.25% y carragenina estandarizada B (CEB) al 0.30%, respectivamente empleando

además del tipo de leche (LUHT, LPAS, LRC, LGV), con dos réplicas para cada uno.

Cuadro 2.3. Formulaciones utilizadas para la elaboración del postre lácteo.

Ingrediente (%)	Formulación base GELYMAR	Formulación con LUHT			Formulación con LPAS		Formulación con LRC		Formulación con LGV	
		89.29	89.29	89.50	89.29	89.50	-----	-----	89.29	89.50
Leche fluida	89.29	89.29	89.29	89.50	89.29	89.50	-----	-----	89.29	89.50
Leche polvo	-----	-----	-----	-----	-----	-----	8.42	8.46	-----	-----
Agua	-----	-----	-----	-----	-----	-----	77.13	77.30	-----	-----
Azúcar	10.42	10.42	10.42	10.15	10.42	10.15	10.42	10.15	10.42	10.15
Carralact	0.25	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Carragenina CRC	-----	0.25	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Carragenina CEA	-----	-----	0.25	-----	0.25	-----	0.25	-----	0.25	-----
Carragenina CEB	-----	-----	-----	0.30	-----	0.30	-----	0.30	-----	0.30
Sal	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05
Mantequilla	-----	-----	-----	-----	-----	-----	3.74	3.74	-----	-----

Para el caso del uso de la leche reconstituida (LRC) se buscó igualar el contenido de grasa presente en leche entera por lo tanto se adicionó 3.74% de mantequilla a la formulación original como lo muestra el cuadro antes mencionado. Posteriormente a la formulación en la cual se observaron geles con menor drenado de líquido (% de sinéresis), se le adicionaron fructanos de agave (FA) como se muestra el Cuadro 2.4.

Cuadro 2.4 Formulación con y sin fructanos de agave (FA).

Ingrediente	con FA	sin FA
Leche fluida (LPAS)	79.29	89.29
Azúcar	10.42	10.42
Fructanos de agave (FA)	10	-----
Carragenina (CEA)	0.25	0.25
Sal	0.04	0.04

### **2.3.3 Preparación del gel**

Para la preparación del postre lácteo, los ingredientes en polvo (azúcar, sal y carragenina) se mezclaron hasta conseguir una mezcla homogénea y se fueron agregando poco a poco en la leche a 25 °C, con agitación constante hasta lograr la disolución de los ingredientes. Se midió pH y densidad de las mezclas, posteriormente fueron pesadas y llevadas a una temperatura de 80 °C en un termoagitador (Barnstead Thermolyne modelo SP131325) manteniendo la agitación y evitando la generación de espuma, una vez que se alcanzó la temperatura, ésta se mantuvo durante un minuto, después se dejó enfriar hasta 25 °C y se volvió a pesar (el peso perdido por efecto de evaporación se recuperó adicionando agua caliente). Finalmente la muestra se vació en moldes cilíndricos con dimensiones de 49 mm de diámetro y 34 mm de altura, las muestras fueron almacenadas durante 24 h a 4 °C, previo a su análisis (Gelymar, 2016).

Para los geles elaborados con leche reconstituida (LRC), ésta fue hidratada previamente y se siguió el mismo modo de preparación que los geles elaborados con leche fluida; sin embargo, mientras la leche alcanzaba el punto de ebullición, la mantequilla fue fundida para facilitar su incorporación a la mezcla y formar la emulsión mediante un homogeneizador marca Silverson modelo L4R a una velocidad de 2200 rpm durante 2 min. La muestra se colocó en moldes y se almacenaron por 24 h a 4 °C antes de ser analizados.

En el caso de la adición de fructanos de agave, fueron agregados a los polvos al inicio de la preparación para lograr una completa incorporación de los mismos, se siguió el mismo procedimiento y tratamiento que los geles elaborados con leche fluida para su posterior análisis.

### **2.3.4 Fuerza de gel y perfil de textura**

Para determinar fuerza en gel por penetración y el perfil de textura por compresión, se utilizó un texturómetro (Stable Microsystems modelo TAXT2i) con celda de carga de 5 kg. Para el perfil de textura se usó una placa de aluminio de 7

cm de diámetro, con la que se comprimió una distancia de 10 mm de la altura del gel, a una velocidad de acercamiento, prueba y retirada de 1.6 mm/s, con una fuerza de contacto de 5 g con un tiempo de espera de 5 s entre el primer y segundo ciclo de compresión. Se obtuvieron 200 puntos por segundo, posteriormente se realizaron gráficos de fuerza en función del tiempo como lo muestra la Figura 1.7 de la página 21. Posteriormente se calcularon los siguientes parámetros: fractura definida como la fuerza máxima de primer ciclo, cohesividad: relación del Área 2/Área 1, gomosidad: producto de la dureza por la cohesividad, índice de elasticidad instantánea: cociente de la distancia recuperada del gel durante la descompresión del primer ciclo sobre la distancia comprimida, índice de elasticidad total: es el cociente de la distancia recuperada del gel durante la compresión del segundo ciclo sobre la distancia comprimida, es decir longitud 2/ longitud 1, masticosidad: producto de la gomosidad por la elasticidad para ello previamente se debió calcular la gomosidad que se obtiene del producto de dureza por cohesividad.

Para fuerza de gel se utilizó un cilindro de acero inoxidable de 1 cm<sup>2</sup> de diámetro con el cual se realizó una penetración de 20 mm en el gel, a una velocidad de acercamiento, prueba y retirada de 1.6 mm/s y una fuerza de contacto de 5 g, en muestras cilíndricas de 49 mm de diámetro y 34 mm de altura, debido a las dimensiones de la muestra se realizó una única medición en el centro de la misma. Se obtuvieron 200 puntos por segundo, posteriormente se realizaron gráficos de fuerza en función del tiempo obteniendo valores de resistencia (valor de la pendiente), fuerza en gel (fuerza máxima) y distancia de ruptura (distancia recorrida al momento de la ruptura).

### **2.3.5 Determinación de la estabilidad de los geles por sinéresis**

Los geles de carragenina, dependiendo de su rigidez, exudaron distintas cantidades de líquido, por lo tanto la prueba de estabilidad se determinó como la diferencia de peso antes ( $P_1$ ) y después de un periodo de almacenamiento de 24

horas ( $P2$ ). Las muestras fueron secadas suavemente con papel antes de ser pesadas. La pérdida de peso fue expresada como porcentaje en relación con el peso original del gel.

$$\text{Sinéresis} = \left( \frac{P1 - P2}{P1} \right) (100)$$

Dónde:

$P1$  = peso inicial del gel

$P2$  = peso final del gel

### **2.3.6 Determinación de pH y densidad**

El pH de la base de postre lácteo antes de su refrigeración fue medido en un potenciómetro modelo 120 (Conductronic, México) a una temperatura de 25 °C. El principio de medición del medidor de pH está basado en el método electroquímico que mide el potencial generado a través de una membrana de vidrio que es sensible a la actividad de los iones  $H^+$ . Este potencial es comparado con uno de referencia, que genera un potencial constante e independiente del pH, por lo tanto, la diferencia de potencial existente está relacionada con el pH de la disolución problema (Gillespie, 1990). Antes de realizar la medición fue necesario calibrar el equipo con solución buffer de pH 7 y pH 4, con la finalidad de obtener un dato de pH confiable, después de realizar la calibración del equipo se procede a sumergir el bulbo o sensor del potenciómetro en la solución problema y se tomó el dato hasta que el valor se encontró con una variación de  $\pm 0.10$ .

La medición de la densidad de la base para postre lácteo antes de su refrigeración se realizó en densímetro modelo DMA-500 (Anton Paar, Austria) a una temperatura de 20 °C. 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, 2011). Antes de realizar la medición de la solución problema se procedió a la realización de una lectura de las densidades del aire y del agua como indicativo de que el equipo funciona

correctamente. Posteriormente se inyectó la solución problema al equipo para su medición.

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y posteriormente se les aplicó tratamiento estadístico (media, desviación estándar y coeficiente de variación en porcentaje).

## CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Efecto del tipo de carrageninas en geles elaborados con leche entera líquida ultrapasteurizada (LUHT)

#### 3.1.1 Propiedades fisicoquímicas

En el Cuadro 3.1 se presenta el promedio de los valores obtenidos para las propiedades fisicoquímicas (pH y densidad relativa) de las mezclas acuosas, elaboradas con diferentes tipos de carrageninas estandarizadas (CEA, CEB) y carragenina refinada (CRC) al 0.25% en leche entera líquida ultrapasteurizada antes de su refrigeración.

Cuadro 3.1 Densidad y pH de las mezclas acuosas elaboradas con carrageninas estandarizadas (CEA y CEB) y refinada (CRC) en leche entera líquida ultrapasteurizada al 0.25%.

Carragenina		pH	Densidad relativa
CEA	X	6.46 ±0	1.072 ±0.000054
	C.V. (%)	0	0.005
CEB	X	6.48 ±0	1.071 ±0.000096
	C.V. (%)	0	0.009
CRC	X	6.45 ±0	1.073 ±0.000172
	C.V. (%)	0	0.016

Se puede observar que el pH promedio de las mezclas de leche entera líquida ultrapasteurizada con los tres diferentes tipos de carrageninas, se mantuvo en un intervalo de 6.45 a 6.48, indicando que el tipo de carragenina no afectó el valor de pH, ya que no tuvo una diferencia considerable. De igual manera, debido a que la densidad es una propiedad que depende directamente de la masa y en este caso se mantuvo la misma concentración de carragenina en todas las muestras, el valor de densidad relativa tampoco se ve afectado al utilizar los diferentes tipos de carragenina.

### 3.1.2 Perfil de textura

En la Figura 3.1 se presenta el efecto en el perfil de textura al emplear tres diferentes tipos de carragenina como agente gelificante al 0.25% en leche entera líquida ultrapasteurizada en la base de postre lácteo. Estas curvas representan el primer y segundo ciclo de compresión para cada una de las formulaciones evaluadas. Los tres geles se fracturaron antes de la máxima distancia de compresión, CEA y CRC tuvieron una primera fractura antes de romperse por completo, mientras que CEB se rompió por completo a una menor fuerza.

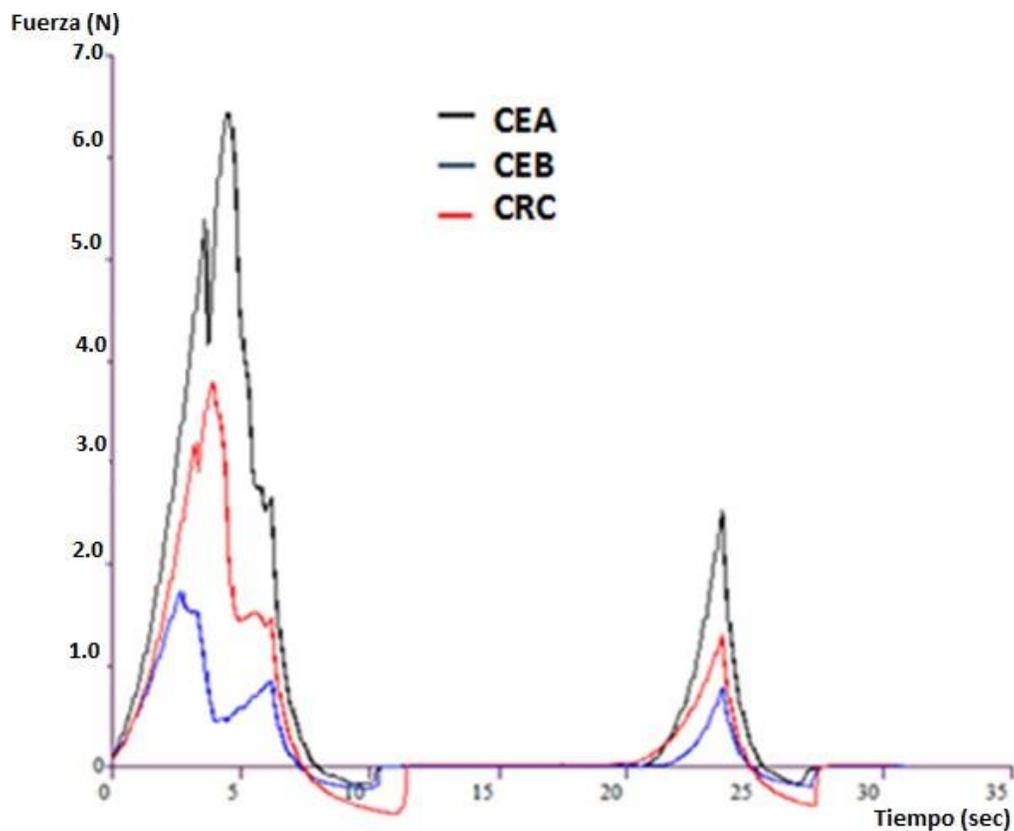


Figura 3.1 Curvas de perfil de textura obtenidas en la base de postre lácteo con leche líquida ultrapasteurizada y carrageninas (CEA, CEB, CRC) al 0.25%.

En el Cuadro 3.2, se presentan los valores de los diferentes parámetros del análisis del perfil de textura evaluados del postre lácteo gelificado con las tres diferentes carrageninas al 0.25%, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Cuadro 3.2 Comparación de las diferentes carrageninas al 0.25% en las propiedades texturales de un postre lácteo elaborado con leche entera líquida ultrapasteurizada.

Parámetro		CEA	CEB	CRC
Fractura (N)	<b>X</b>	<b>0.05</b> ±0.07	----	----
	C.V. (%)	0	0	0
Dureza (N)	<b>X</b>	<b>7.00</b> ±0.30	<b>4.00</b> ±0.20	<b>6.00</b> ±0.06
	C.V. (%)	5.0	4.0	1.0
Cohesividad	<b>X</b>	<b>0.20</b> ±0.01	<b>0.10</b> ±0.01	<b>0.15</b> ±0.01
	C.V. (%)	6.0	7.0	9.0
Gomosidad (N)	<b>X</b>	<b>1.40</b> ±0.03	<b>0.40</b> ±0.04	<b>0.90</b> ±0.02
	C.V. (%)	8.0	9.0	3.0
Elasticidad instantánea	<b>X</b>	<b>0.30</b> ±0.02	<b>0.10</b> ±0.01	<b>0.20</b> ±0.01
	C.V. (%)	8.0	10.0	5.0
Elasticidad total	<b>X</b>	<b>0.50</b> ±0.02	<b>0.40</b> ±0.01	<b>0.60</b> ±0.04
	C.V. (%)	5.0	3.0	7.0

En cuanto a la fuerza máxima registrada, que indica la dureza, el gel elaborado con CEA presentó un valor mayor, ya que al tratarse de una mezcla de carrageninas kappa I y kappa II de acuerdo el fabricante, presentan las características de ambas carrageninas, favoreciendo el sinergismo con las caseínas de la leche, ya que se facilita la formación de la red tridimensional reflejado en una mayor dureza.

El uso de la CEB presentó la menor dureza, en este caso se sugiere que al ser una mezcla entre carragenina kappa I y kappa II y que al estar estandarizada con almidón, pueda existir una competencia de ambos, por la fase acuosa y la reactividad con las caseínas de la leche se ve interrumpida, volviendo a la estructura del sistema más frágil. La dureza es 1.75 veces más alto si se compara la CEA con respecto a la CEB, mientras que los geles elaborados con CRC mantuvieron un valor intermedio, indicando que el uso de CEA favorece la

formación de geles más duros lo que impide una pronta alteración de la estructura de los geles evaluados.

También se observó que el área y distancia del segundo ciclo de compresión son menores comparados con el área y distancia del primer ciclo de compresión indicando la baja cohesividad y elasticidad de los geles. La cohesividad se encuentra en un intervalo de 0.10 a 0.20 en todos los geles, el valor de este parámetro es dos veces más alto si se compara la CEA respecto a CEB indicando que estos últimos presentan baja recuperación de su estructura interna después del primer ciclo de compresión. La gomosidad fue mayor en los geles elaborados con CEA, ya que mostraron un valor de 1.40 N, mientras que los valores para este mismo parámetro en geles elaborados con CEB y CRC se obtuvieron valores de 0.40 y 0.90 N, respectivamente. Si se compara el valor obtenido entre el uso de CEA y CEB, el valor de gomosidad es 3.5 veces más alto al utilizar CEA indicando que los geles elaborados con CEA necesitarán una mayor fuerza al ser masticados para desintegrarse antes de su deglución. El parámetro de elasticidad instantánea al no tener una variación considerable (0.10-0.30) y teniendo una influencia directa en los valores de elasticidad total (0.40-0.60) indica que en ningún caso los geles pueden recuperar su condición original después de retirar una fuerza aplicada.

### **3.1.3 Fuerza de gel**

En la Figura 3.2 se presentan las curvas características obtenidas en la determinación de fuerza de gel y los parámetros respectivos en el Cuadro 3.3. Al cambiar el tipo de carragenina se obtuvo un pico más alto para el gel elaborado con CEA y el pico menor para el gel elaborado con CEB.

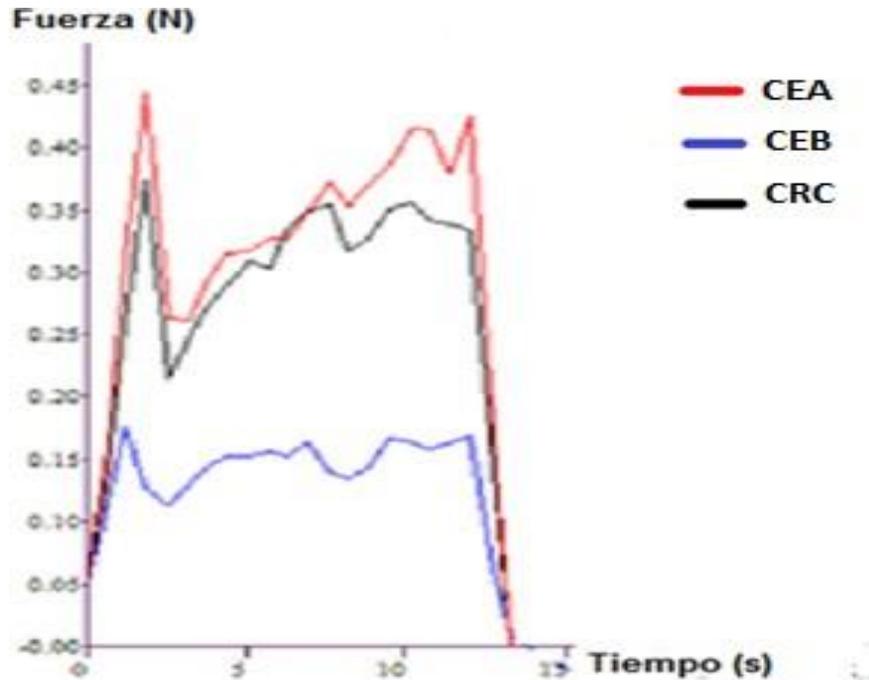


Figura 3.2 Comparación gráfica de fuerza de gel en las tres muestras con carragenina al 0.25% utilizando leche ultrapasteurizada.

El gel elaborado con CEA presentó un valor de fuerza de gel de 0.50 N y valores de 0.40 N y 0.20 N en los geles elaborados con CRC y CEB, respectivamente, indicando que estos últimos presentaron una estructura más frágil que los elaborados con CEA.

Los valores para los parámetros de resistencia a la penetración son similares a los geles elaborados con CRC y CEA, además la distancia de ruptura se ubicó entre 3.0 y 3.5 mm, por lo que se podrían usar indistintamente, si no se requiere de una dureza alta.

Cuadro 3.3 Fuerza de gel en postres lácteos elaborados con diferente tipo de carragenina empleando leche ultrapasteurizada (LUHT).

Carragenina		Fuerza de gel (N)	Resistencia a la penetración (N/s)	Distancia de ruptura (mm)
CEA	<b>X</b>	<b>0.50</b> ±0.05	<b>0.20</b> ±0.01	<b>3.50</b> ±0.27
	C.V. (%)	9.0	6.0	7.0
CEB	<b>X</b>	<b>0.20</b> ±0.01	<b>0.10</b> ±0	<b>3.00</b> ±0.14
	C.V. (%)	4.0	4.0	5.0
CRC	<b>X</b>	<b>0.40</b> ±0.02	<b>0.20</b> ±0.01	<b>3.10</b> ±0.07
	C.V. (%)	6.0	3.0	2.0

En el Cuadro 3.4 se muestran los valores de sinéresis así con su desviación estándar y coeficiente de variación, obtenidos para los diferentes geles elaborados con los tres tipos de carragenina al 0.25%, con leche líquida ultrapasteurizada. Se puede observar que los geles elaborados con CEA presentaron un mayor drenado de líquido (3.50%), que puede ser debido a su composición, ya que se trata de una mezcla de carrageninas kappa I y kappa II.

Se ha reportado que la carragenina kappa I forma geles con alta sinéresis, mientras la carragenina kappa II, los forma con sinéresis moderada (Fennema, 2000). Los geles que contienen CEB presentaron menor sinéresis, ya que además de la mezcla de carragenina kappa I y II, contiene almidón y maltodextrina (Carragenina PPD 5447, Gelymar) que retienen una mayor cantidad de agua proporcionando una mayor estabilidad al sistema. Los geles con carragenina CRC presentaron la menor sinéresis, probablemente debido a que solamente contiene carragenina kappa II refinada.

Cuadro 3.4 Estabilidad medida a través del porcentaje de sinéresis de los geles elaborados con diferente tipo de carragenina empleando leche líquida ultrapasteurizada (LUHT).

<b>Carragenina</b>		<b>Sinéresis (%)</b>
CEA	<b>X</b>	<b>3.50</b> ±0.20
	C.V. (%)	6.0
CEB	<b>X</b>	<b>1.90</b> ±0.09
	C.V. (%)	5.0
CRC	<b>X</b>	<b>1.0</b> ±1.78
	C.V. (%)	2.53

De acuerdo con los datos de textura y sinéresis se seleccionó la carragenina estandarizada A y B para determinar el efecto del tipo de leche.

### **3.2 Efecto del tipo de leche empleando dos tipos de carragenina (estandarizada A y B) en geles.**

#### **3.2.1 Propiedades fisicoquímicas**

En el Cuadro 3.5 se presenta el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de los valores obtenidos para las propiedades fisicoquímicas (pH y densidad relativa) de las mezclas acuosas, elaboradas con dos tipos de carragenina (CEA, CEB), ambas estandarizadas a concentraciones de 0.25 y 0.30%, respectivamente en cuatro diferentes tipos de leche; entera líquida ultrapasteurizada (LUHT), entera líquida pasteurizada (LPAS), leche reconstituida (LRC) y leche líquida adicionada con grasa vegetal (LGV) antes de su refrigeración. Se observa que el pH promedio de las mezclas de los diferentes tipos de leches con los dos tipos de carrageninas se mantuvo en un intervalo de 6.46 a 6.58, y la densidad relativa se encuentra en valores de 1.072 a 1.073. Al realizar un análisis estadístico de diferencias mínimas significativas se observa que a pesar de que los valores para pH son similares, existe un efecto significativo por el uso de diferente tipo de carragenina (superíndice en minúsculas) y el tipo de leche (superíndice en mayúsculas). Mientras que para el caso de la densidad relativa el uso de diferente tipo de carragenina no tuvo un

ningún efecto significativo, pero el tipo de leche si lo tuvo.

Cuadro 3.5 Propiedades fisicoquímicas de las mezclas acuosas elaboradas con carrageninas estandarizadas (CEA y CEB) a diferentes concentraciones.

Leche	Carragenina		pH	Densidad relativa
LUHT	CEA 0.25%	<b>X</b>	<b>6.46<sup>aB</sup></b> ±0	<b>1.072<sup>Ab</sup></b> ±0
		C.V. (%)	0	0.02
	CEB 0.30%	<b>X</b>	<b>6.50<sup>bB</sup></b> ±0	<b>1.073<sup>Ab</sup></b> ±0
		C.V. (%)	0.07	0.01
LPAS	CEA 0.25%	<b>X</b>	<b>6.51<sup>aA</sup></b> ±0.01	<b>1.073<sup>Aa</sup></b> ±0
		C.V. (%)	0.09	0.01
	CEB 0.30%	<b>X</b>	<b>6.58<sup>bA</sup></b> ±0.01	<b>1.073<sup>Aa</sup></b> ±0
		C.V. (%)	0.08	0.09
LGV	CEA 0.25%	<b>X</b>	<b>6.49<sup>aA</sup></b> ±0.05	<b>1.073<sup>Aab</sup></b> ±0
		C.V. (%)	0.71	0.03
	CEB 0.30%	<b>X</b>	<b>6.58<sup>bA</sup></b> ±0.03	<b>1.072<sup>Aab</sup></b> ±0
		C.V. (%)	0.49	0.01
LRC	No determinada			

Diferentes superíndices indica diferencias estadísticas ( $\alpha=0.05$ ).

El valor para la densidad de la leche reportado se encuentra en valores de 1.030 y 1.033 a una temperatura de 20 °C (Romero y Lagarriga, 2004). Es evidente que al aumentar los sólidos disueltos no grasos en las formulaciones dicho parámetro (1.072 y 1.073) se encontró por encima del dato bibliográfico, además de que en las formulaciones evaluadas no se adicionó materia grasa, lo que hubiera provocado una disminución en la densidad.

Para el caso de los geles elaborados con leche reconstituida (LRC) las propiedades fisicoquímicas no fueron evaluadas debido a que para integrar de

manera homogénea la mantequilla con la finalidad de igualar el contenido de la grasa presente en la leche se llevó la mezcla a una temperatura de 80 °C y el equipo tanto para pH como para la densidad sólo podía realizar la medición a 25 °C, además de que existía el riesgo de solidificarse la muestra dentro del mismo.

### **3.2.2 Perfil de textura**

En la Figura 3.3 se muestran las gráficas representativas de perfil de textura obtenidas en la base de postre lácteo utilizando cuatro diferentes tipos de leche y dos tipos de carragenina estandarizada CEA al 0.25% y CEB al 0.30%. La modificación de la concentración utilizada para la formulación de los geles se debió a que al utilizar la concentración de 0.25% con la leche adicionada con grasa vegetal no se lograba la formación del gel.

En todos los geles de las distintas formulaciones se presentó una fractura antes de alcanzar un valor de fuerza máxima (dureza), indicando que todos presentaron una estructura frágil lo que provocó que los geles se rompieran antes de que la placa hubiera recorrido los 10 mm de compresión especificado en este tipo de producto. La mayor fuerza se registró en el primer ciclo de compresión, siendo mayor para el gel elaborado con LPAS y CEA y menor para el gel elaborado con LGV y CEB. Mientras que el área del segundo ciclo de compresión al ser menor indica que los geles presentan baja cohesividad y elasticidad.

En los Cuadros 3.6 y 3.7 se presentan los valores promedios desviación estándar y el coeficiente de variación de los parámetros del perfil de textura. Se observó que se obtienen valores superiores para las distintas propiedades texturales en los geles elaborados con CEA (0.25%), mientras que al utilizar CEB (0.30%) se obtienen valores mínimos para las mismas propiedades sin importar que se haya utilizado una mayor concentración de carragenina en la formulación.

El gel elaborado con CEA y LUHT presentó un valor mayor de fractura (Cuadro 3.6), rompiéndose casi por completo, después de ello ya no hubo resistencia del mismo, debido a esto ya no se presenta un valor de dureza. Originándose el valor de dureza y fractura en un mismo punto antes de los 10 mm.

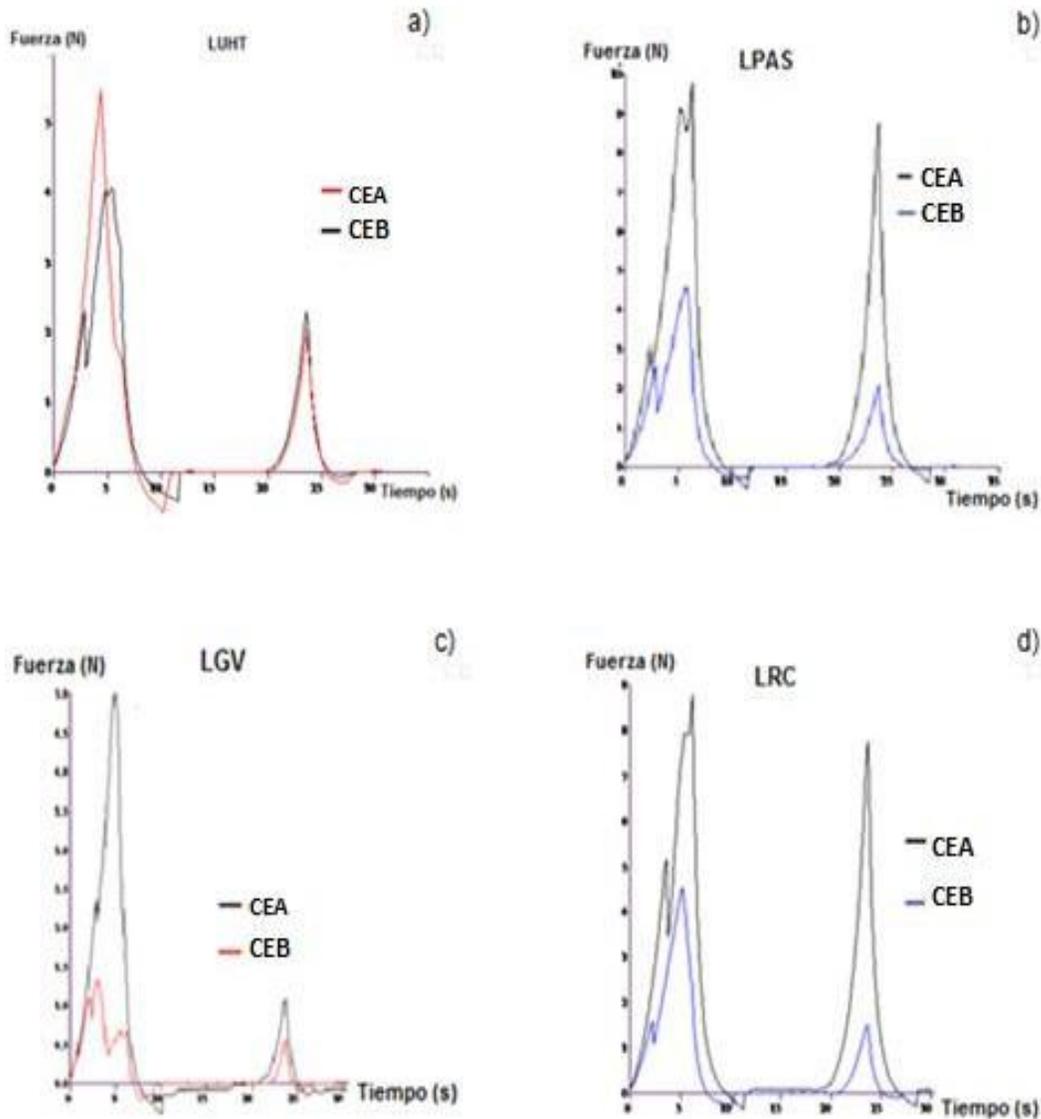


Figura 3.3 Gráficas representativas de perfil de textura obtenidas en el postre lácteo con diferentes tipos de leche: a) leche ultrapasteurizada, b) leche pasteurizada, c) leche con grasa vegetal, d) leche reconstituida.

Cuadro 3.6 Propiedades texturales de geles lácteos elaborados con dos tipos de carragenina y diferentes tipos de leche.

Leche	Carragenina		Fractura (N)	Dureza (N)	Cohesividad
LUHT	CEA 0.25%	X	<b>7.20<sup>aB</sup></b> ± 0.16	----	<b>0.20<sup>aB</sup></b> ± 0.01
		C.V. (%)	0	2.0	6.0
	CEB 0.30%	X	<b>1.70<sup>bB</sup></b> ± 0.09	<b>2.30<sup>bB</sup></b> ± 0.12	<b>0.10<sup>bB</sup></b> ± 0.01
		C.V. (%)	5.0	5.0	9.0
LPAS	CEA 0.25%	X	<b>3.70<sup>aAB</sup></b> ± 0.24	<b>9.80<sup>aA</sup></b> ± 0.36	<b>0.40<sup>aA</sup></b> ± 0.01
		C.V. (%)	6.0	4.0	3.0
	CEB 0.30%	X	<b>2.30<sup>bAB</sup></b> ± 0.04	<b>4.60<sup>bA</sup></b> ± 0.24	<b>0.20<sup>bA</sup></b> ± 0.01
		C.V. (%)	2.0	5.0	5.0
LRC	CEA 0.25%	X	<b>6.20<sup>aA</sup></b> ± 0.23	<b>9.00<sup>aA</sup></b> ± 0.08	<b>0.40<sup>aA</sup></b> ± 0.03
		C.V. (%)	4.0	0.80	9.0
	CEB 0.30%	X	<b>2.00<sup>bA</sup></b> ± 0.13	<b>4.00<sup>bA</sup></b> ± 0.21	<b>0.20<sup>bA</sup></b> ± 0.02
		C.V. (%)	7.0	5.0	6.0
LGV	CEA 0.25%	X	<b>3.50<sup>aAB</sup></b> ± 0.13	<b>4.30<sup>aC</sup></b> ± 0.24	<b>0.10<sup>aB</sup></b> ± 0.01
		C.V. (%)	3.70	6.0	6.0
	CEB 0.30%	X	<b>0.05<sup>bAB</sup></b> ± 0	<b>1.30<sup>bC</sup></b> ± 0.10	<b>0.07<sup>bB</sup></b> ± 0.01
		C.V. (%)	0	8.0	15

Diferentes superíndices indica diferencias estadísticas ( $\alpha=0.05$ ).

Para el caso de la leche adicionada con grasa vegetal (LGV) sin importar el uso de cualquiera de las dos carrageninas se obtienen valores bajos para el parámetro de fractura, es probable que dichos valores se deban que este tipo de leche en su formulación contiene goma guar como estabilizante, mismo que podría interferir en el mecanismo de gelificación de la carragenina y las proteínas de la leche.

Para el caso de la leche demás leches; LPAS, LRC y LUHT se observan valores altos al utilizar CEA y valores menores cuando se utiliza CEB, además en la

etiqueta comercial no hace referencia a ningún otro ingrediente adicional por lo tanto no hay una referencia de que contenga algún estabilizante que interfiera en el proceso de gelificación

Cuadro 3.7 Propiedades texturales de geles lácteos elaborados con dos tipos de carragenina y diferentes tipos de leche (continuación).

Leche	Carragenina		Gomosidad (N)	Elasticidad instantánea	Elasticidad total
LUHT	CEA 0.25%	<b>X</b>	<b>1.40<sup>aBC</sup></b> ±0.11	<b>0.40<sup>aB</sup></b> ±0.01	<b>0.60<sup>aB</sup></b> ±0.02
		C.V. (%)	8.0	3.0	5.0
	CEB 0.30%	<b>X</b>	<b>0.40<sup>bBC</sup></b> ±0.04	<b>0.20<sup>bB</sup></b> ±0.03	<b>0.50<sup>bB</sup></b> ±0.04
		C.V. (%)	10.0	10.0	6.0
LPAS	CEA 0.25%	<b>X</b>	<b>3.90<sup>aA</sup></b> ±0.21	<b>0.50<sup>aAB</sup></b> ±0.02	<b>0.70<sup>aAB</sup></b> ±0.04
		C.V. (%)	5.0	3.0	6.0
	CEB 0.30%	<b>X</b>	<b>0.84<sup>bA</sup></b> ±0.07	<b>0.25<sup>bAB</sup></b> ±0.02	<b>0.50<sup>bAB</sup></b> ±0.03
		C.V. (%)	9.0	7.0	7.0
LRC	CEA 0.25%	<b>X</b>	<b>3.30<sup>aAB</sup></b> ±0.29	<b>0.55<sup>aA</sup></b> ±0.03	<b>0.80<sup>aA</sup></b> ±0.03
		C.V. (%)	9.0	5.0	4.0
	CEB 0.30%	<b>X</b>	<b>0.90<sup>bAB</sup></b> ±0.05	<b>0.25<sup>bA</sup></b> ±0.04	<b>0.50<sup>bA</sup></b> ±0.02
		C.V. (%)	5.0	15.0	5.0
LGV	CEA 0.25%	<b>X</b>	<b>0.40<sup>Ac</sup></b> ±0.003	<b>0.20<sup>aC</sup></b> ±0.01	<b>0.50<sup>aC</sup></b> ±0.02
		C.V. (%)	8.0	2.0	3.0
	CEB 0.30%	<b>X</b>	<b>0.10<sup>bC</sup></b> ±0.02	<b>0.10<sup>bC</sup></b> ±0.01	<b>0.35<sup>bC</sup></b> ±0.01
		C.V. (%)	6.0	7.0	3.0

Diferentes superíndices indica diferencias estadísticas ( $\alpha=0.05$ ).

Respecto al tipo de leche se observó que los geles elaborados con LPAS y CEA registraron un valor de dureza de 9.80 N, valor muy similar al obtenido con LRC utilizando la misma carragenina (9.0 N), probablemente se debe a que la desnaturalización de las proteínas de ambas leches durante los procesos de secado y pasteurización es relativamente bajo (3-5%), como lo comenta Meunier-Goddik (2016). Así mismo, Ould Eleya y Turgeon (2000) observaron que la

intensidad del tratamiento térmico tiene efecto en la estructura de las proteínas de la leche logrando un desplegamiento parcial o total de las moléculas proteínicas, para dar origen a cadenas extendidas, pero sin ruptura de uniones covalentes. Debido a esto, se altera el balance entre las diferentes fuerzas que mantienen a la proteína en su estado nativo, como: interacciones electrostáticas, puentes de hidrógeno, puentes disulfuro, interacción dipolo-dipolo, interacciones hidrofóbicas, entre otras, lo que permite “activar” la funcionalidad deseada y proporcionar las propiedades sensoriales y texturales esperadas en los alimentos (Pérez *et al.*, 2006). Dicha desnaturalización expone, al menos, algunos grupos de las partes hidrofóbicas de la molécula y de esta manera la estructura nativa de la proteína se vuelve disponible para originar uniones intermoleculares. El valor de la cohesividad se encuentra en un intervalo de 0.07 a 0.4 presentando un valor menor en los geles elaborados con LGV. Estos mismos geles también presentan valores de gomosidad, elasticidad instantánea y elasticidad total similar. En todos los tipos de leche, la CEB produjo geles menos duros, cohesivos y elásticos comparada con la CEA (Cuadro 3.7).

El uso de LUHT dio como resultado valores más altos de gomosidad, elasticidad instantánea y elasticidad total que los obtenidos con LGV, pero menores respecto al uso de LPAS y LRC, con ello, se confirma que el tratamiento térmico desnaturalizó en mayor medida las proteínas de la leche y por lo tanto el entrecruzamiento entre proteína-carragenina para la formación de la red tridimensional necesaria en sistemas gelificados se ve interrumpida o formada en menor proporción comparada con leches que han sido sometidas a tratamientos térmicos menos drásticos influyendo de manera directa en la estructura y propiedades textuales de los geles.

El análisis estadístico confirmó que existe diferencia significativa entre el tipo de leche ( $P < 0.05$ ) y el tipo de carragenina utilizada ( $P < 0.05$ ). El uso de CEA presenta mayores valores en todos los parámetros evaluados, pero los más evidentes se ven reflejados en las propiedades de fractura y dureza. También se observa una

similitud de valores entre los geles elaborados con LPAS y LRC en todas las propiedades, por lo tanto el uso de estos dos tipos de leche se vuelve indistinto

### **3.2.3. Fuerza de gel**

En el Cuadro 3.8 se presentan los valores promedios obtenidos para fuerza de gel, resistencia a la penetración y distancia de ruptura, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación para los geles elaborados con cuatro diferentes tipos de leche y gelificados con CEA al 0.25% y CEB al 0.30%.

En todos los parámetros sus valores fueron mayores en los geles elaborados con CEA y LPAS o LRC indicando que la combinación de la carragenina recomendada para postre lácteo con cualquiera de estos dos tipos de leche, que al no haber sufrido gran modificación en sus proteínas durante el proceso térmico, ofrece una mayor posibilidad de desarrollar sus propiedades, al interaccionar con las caseínas de la leche facilitando la atracción electrostática entre la carga negativa de unidades de sulfato de carragenina y la carga predominantemente positiva de las partes de la cadena peptídica de caseína como lo propone Langendorff *et al.* (2000), en sistemas lácteos que al encontrarse relativamente intactas favorecen la formación del complejo carragenina y caseína.

Estadísticamente se observa que el uso de diferente tipo de carragenina (superíndice en minúsculas) tiene un efecto significativo en las propiedades de fuerza de gel, resistencia a la penetración y distancia de ruptura. Asimismo, se observa que el uso de diferente tipo de leche (superíndice en mayúsculas) tiene un efecto totalmente diferente para todas las propiedades evaluadas, sin embargo, el uso de LPAS y LRC tuvo un efecto similar en la fuerza de gel y en la distancia de ruptura, pero diferente para el parámetro de resistencia a la penetración a pesar de presentar el mismo valor de 0.30 N/s.

Cuadro 3.8 Fuerza de gel en postres lácteos elaborados con diferente tipo de leche.

Leche	Carragenina		Fuerza de gel (N)	Resistencia a la penetración (N/s)	Distancia de ruptura (mm)
LUHT	CEA 0.25%	X	<b>0.50<sup>aB</sup></b> ±0.05	<b>0.20<sup>aC</sup></b> ±0.01	<b>3.5<sup>Ab</sup></b> ±0.27
		C.V. (%)	9.0	6.0	7.0
	CEB 0.30%	X	<b>0.40<sup>bB</sup></b> ±0.02	<b>0.15<sup>bC</sup></b> ±0.01	<b>3.0<sup>Bb</sup></b> ±0.14
		C.V. (%)	5.0	4.0	4.0
LPAS	CEA 0.25%	X	<b>0.90<sup>aA</sup></b> ±0.09	<b>0.30<sup>aB</sup></b> ±0.01	<b>4.0<sup>Aa</sup></b> ±0.09
		C.V. (%)	10.0	3.0	2.0
	CEB 0.30%	X	<b>0.45<sup>bA</sup></b> ±0.03	<b>0.20<sup>bB</sup></b> ±0.01	<b>4.0<sup>Ba</sup></b> ±0.13
		C.V. (%)	6.0	5.0	3.0
LRC	CEA 0.25%	X	<b>0.80<sup>aA</sup></b> ±0.05	<b>0.30<sup>aA</sup></b> ±0.01	<b>4.0<sup>Aa</sup></b> ±0.15
		C.V. (%)	7.0	4.0	3.0
	CEB 0.30%	X	<b>0.80<sup>bA</sup></b> ±0.01	<b>0.30<sup>bA</sup></b> ±0.01	<b>4.0<sup>Ba</sup></b> ±0.07
		C.V. (%)	1.0	2.0	2.0
LGV	CEA 0.25%	X	<b>0.30<sup>aC</sup></b> ±0.04	<b>0.10<sup>aD</sup></b> ±0.01	<b>3.0<sup>Ac</sup></b> ±0.25
		C.V. (%)	9.0	7.0	8.0
	CEB 0.30%	X	<b>0.10<sup>bC</sup></b> ±0.02	<b>0.08<sup>bD</sup></b> ±0.01	<b>2.0<sup>Bc</sup></b> ±0.34
		C.V. (%)	8.0	7.0	8.0

Diferentes superíndices indica diferencias estadísticas ( $\alpha=0.05$ ).

En el Cuadro 3.9 se muestran los valores de sinéresis (%), así como su desviación estándar y coeficiente de variación al utilizar diferentes tipos de carragenina estandarizada al 0.25 y 0.30% en diferentes tipos de leche. Se observó que

indistintamente sin importar el tipo de leche que se utilice en la formulación siempre existe un mayor drenado de líquido cuando se utiliza la carragenina estandarizada A (CEA).

Cuadro 3.9 Estabilidad de los geles lácteos elaborados con diferente tipo de carragenina y diferente tipo de leche.

Leche	Carragenina		Sinéresis (%)
LUHT	CEA 0.25%	<b>X</b>	<b>3.50<sup>aA</sup></b> ±0.20
		C.V. (%)	6.0
	CEB 0.30%	<b>X</b>	<b>1.90<sup>bA</sup></b> ±0.09
		C.V. (%)	5.0
LPAS	CEA 0.25%	<b>X</b>	<b>2.70<sup>aA</sup></b> ±0.10
		C.V. (%)	6.0
	CEB 0.30%	<b>X</b>	<b>2.40<sup>bA</sup></b> ±0.10
		C.V. (%)	5.0
LRC	CEA 0.25%	<b>X</b>	<b>1.54<sup>aB</sup></b> ±0.06
		C.V. (%)	4.0
	CEB 0.30%	<b>X</b>	<b>1.10<sup>bB</sup></b> ±0.06
		C.V. (%)	5.00
LGV	CEA 0.25%	<b>X</b>	<b>2.67<sup>aA</sup></b> ±0.20
		C.V. (%)	9.0
	CEB 0.30%	<b>X</b>	<b>1.49<sup>bA</sup></b> ±0.10
		C.V. (%)	8.00

Van de Velde *et al.* (2001), estudiaron la estructura química de las carrageninas híbridas, con el fin de determinar la conformación de las cadenas de iota carragenina y kappa I dentro de la molécula y concluyeron que ésta consiste en cadenas mezcladas, donde ambos tipos de carragenina se encuentran presentes en la misma cadena.

Villanueva *et al.* (2004), compararon química y funcionalmente, extractos de carragenina kappa II y mezclas de iota carragenina y kappa I encontrando que la fuerza de gel y cohesividad en agua de los extractos kappa II, fue similar a mezclas iota carragenina y kappa I con un contenido mayoritariamente de iota carragenina, mientras que la deformación de los geles, es similar a mezclas con una mayor proporción de carragenina kappa I. Ambos grupos de investigadores coinciden en que los extractos de carragenina kappa II, al tener una conformación estructural diferente, no sólo combinan las propiedades de los iota carragenina y kappa I, sino que además, tienen características y propiedades reológicas especiales.

Al realizar el análisis estadístico se observó que el tipo de carragenina tiene un efecto significativo (superíndice en minúsculas), ya que al utilizar CEB al 0.30% se tienen valores menores de drenado del líquido y valores mayores al utilizar CEA al 0.25%. Sin embargo, existe la posibilidad de que no se trate solamente de las propiedades de la carragenina, sino de un efecto de la concentración utilizada, además de que la carragenina CEB se encuentra en mezcla con otros hidrocoloides, los cuales pueden favorecer el sinergismo entre los distintos componentes del sistema, y por ello se obtienen valores menos drásticos de pérdida de peso al evaluar la estabilidad de los geles.

Debido a que a baja concentración de carragenina, se puede causar la reducción de la floculación del sistema acuoso, que a su vez, aumenta las posibilidades de sinéresis. A mayor concentración de carragenina se estabiliza el sistema por repulsión estérica y por lo tanto se reduce la sinéresis. Este tipo de estabilización por repulsión del polímero adsorbido sobre los agregados puede ser, alternativamente, visto como un efecto osmótico donde al aumentar la concentración de polímeros añadidos, especialmente de los cargados, que están asociados a la matriz del gel, son capaces de aumentar considerablemente la presión osmótica del sistema, reduciendo la sinéresis del mismo.

Respecto al tipo de leche se observa que el uso de LHUT, LPAS y LGV estadísticamente (superíndice en mayúsculas) tienen el mismo efecto en la sinéresis del postre lácteo gelificado, ya que la mayor parte del agua en los geles lácteos no está ligada químicamente a proteínas, sino que está físicamente atrapada en la estructura de la red, como ha sido propuesto por Van Vliet (1996), mientras que con el uso de LRC se obtiene un valor más bajo de drenado de líquido, y estadísticamente diferente a los demás tipos de leche, debido a que el aumento del contenido de sólidos aumenta el volumen de las partículas, y por lo tanto existe una mayor resistencia a la contracción del gel, ya que los polímeros aniónicos como la carragenina al interactuar en la superficie con las cargas positivas de las micelas de caseína, se cree que causan diversos efectos, dependiendo de su concentración.

### **3.3 Propiedades obtenidas con y sin fructanos de agave**

De acuerdo a los parámetros texturales y sinéresis, se seleccionó el gel más estable, se preparó una formulación de leche pasteurizada (LPAS) y carragenina estandarizada A (CEA), con fructanos de agave (FA), y se evaluó el efecto en las propiedades texturales. A continuación se muestra la comparación de resultados obtenidos para las distintas propiedades texturales evaluadas de los geles elaborados con y sin adición de FA (Cuadro 3.10).

Se observó que al agregar FA en el sistema CEA y LPAS, sólo aumentan considerablemente los valores de fractura y dureza de los geles evaluados, ya que en los parámetros de cohesividad, elasticidad instantánea y total, no se detectó un aumento considerable al utilizar FA.

Cuadro 3.10 Comparación de propiedades texturales de geles lácteos elaborados con y sin fructanos de agave (FA).

<b>Propiedad</b>		<b>Sin FA</b>	<b>Con FA</b>
Fractura (N)	<b>X</b>	<b>3.70</b> ±0.24	<b>5.53</b> ±0.36
	C.V. (%)	6.0	7.0
Dureza(N)	<b>X</b>	<b>9.80</b> ±0.36	<b>13.0</b> ±1.00
	C.V. (%)	4.0	9.0
Cohesividad	<b>X</b>	<b>0.40</b> ±0.01	<b>0.40</b> ±2.00
	C.V. (%)	3.0	4.0
Gomosidad (N)	<b>X</b>	<b>3.90</b> ±0.21	<b>5.00</b> ±0.40
	C.V. (%)	9.0	9.0
Elasticidad instantánea	<b>X</b>	<b>0.50</b> ±0.02	<b>0.50</b> ±0.01
	C.V. (%)	3.0	2.0
Elasticidad total	<b>X</b>	<b>0.70</b> ±0.04	<b>0.80</b> ±0.04
	C.V. (%)	6.0	4.0

En el Cuadro 3.11 se presentan los parámetros de fuerza de gel y resistencia a la penetración, los cuales no concuerdan con los valores de dureza del perfil de textura, ya que presentan fuerza de gel similar.

Sin embargo, la distancia de ruptura se redujo en media unidad, pudiendo interpretarse como un efecto de la concentración de sólidos, ahora presente en el sistema, la cual aumentó 10% a la formulación original.

Cuadro 3.11 Comparación de fuerza de geles elaborados con y sin fructanos de agave (FA).

<b>Propiedad</b>		<b>Sin FA</b>	<b>Con FA</b>
Fuerza de gel (N)	<b>X</b>	<b>0.90</b> ±0.09	<b>0.90</b> ±0.02
	C.V. (%)	10	1.7
Resistencia a la penetración (N/s)	<b>X</b>	<b>0.30</b> ±0.01	<b>0.40</b> ±0.01
	C.V. (%)	2.6	1.5
Distancia de ruptura (mm)	<b>X</b>	<b>4.0</b> ±0.09	<b>3.5</b> ±0.03
	C.V. (%)	2.1	0.88

Se sabe que los tratamientos térmicos aumentan la capacidad de retención de agua de las proteínas en comparación con la de las proteínas nativas, probablemente porque los puntos reactivos de las cadenas polipeptídicas quedan más accesibles a debido a un mayor grado de aglomeración de las proteínas. Se ha demostrado además, que al desnaturalizarse las proteínas se forman enlaces entre las proteínas del suero y las caseínas vía sulfihídricos, aumentando la estabilidad del sistema de la leche, pero produciendo sabores a cocido por la liberación de mercaptanos lo que además de afectar las propiedades texturales también afecta las propiedades sensoriales (Jiménez-Guzmán *et al.*, 2003).

En el Cuadro 3.12 se muestran los valores de propiedades fisicoquímicas y sinéresis de los geles elaborados con y sin FA donde se puede observar que en los geles adicionados con FA el pH disminuye poco, es decir la mezcla se vuelve ácida; característica principal de los fructanos de agave, además los valores de densidad relativa aumentaron, debido a que esta propiedad depende directamente de la masa y por lo tanto al aumentar la cantidad de sólidos en un 10% era evidente que se observara un aumento significativo en dicha propiedad. En el gel formado por FA + LPAS se redujo la pérdida de peso por lo que se incrementó su estabilidad. Recientes estudios sugieren que los fructanos de

agave cubren las micelas de caseína en yogur produciendo una red tridimensional más densa, y por lo tanto más estable, disminuyendo el drenado de agua de su estructura lo que podría justificar en los geles lácteos de carragenina, un comportamiento similar.

Cuadro 3.12 Densidad, pH y sinéresis de geles lácteos elaborados con y sin fructanos de agave (FA).

<b>Propiedad</b>		<b>Sin FA</b>	<b>Con FA</b>
pH	<b>X</b>	<b>6.51</b> ±0.01	<b>6.48</b> ±0.01
	C.V. (%)	0.09	0.01
Densidad relativa	<b>X</b>	<b>1.073</b> ±0	<b>1.115</b> ±0
	C.V. (%)	0.01	0.01
Sinéresis (%)	<b>X</b>	<b>2.70</b> ±0.14	<b>2.60</b> ±0.16
	C.V. (%)	6.0	6.0

## CONCLUSIONES

El estudio realizado permitió establecer que la leche reconstituida en mezcla con carragenina estandarizada (CEB) resultó ser la mejor propuesta para el desarrollo de una base de postre lácteo gelificado, ya que presentó el menor valor de sinéresis. Además, la adición de fructanos de agave favoreció la estabilidad de los geles lácteos con carragenina, con un efecto mínimo. Por lo tanto, la base de postre lácteo elaborado, incluyendo fructanos de agave es una alternativa de producto funcional desde el punto de vista nutritivo.

El valor del pH de la base de postre lácteo antes de su refrigeración se encontró en un intervalo de 6.46 a 6.58, mientras que la densidad relativa estuvo en un intervalo 1.0720 a 1.0730.

En la base de postre lácteo elaborado con los cuatro diferentes tipos de leche (LUHT, LPAS, LRC y LGV), los valores de los parámetros fuerza de gel, dureza, cohesividad y gomosidad (fuerza de gel y análisis de perfil de textura, respectivamente) fueron mayores en los geles elaborados con CEA. El análisis estadístico Tukey ( $P < 0.05$ ) confirmó que existe diferencia significativa entre el tipo de leche y tipo de carragenina utilizada.

La base de postre lácteo con mayor sinéresis la presentó el gel con LUHT y CEA (3.5%) y el gel con menor sinéresis fue el elaborado con LRC y CEB (1.10 %). La adición de fructanos de agave favoreció la estabilidad de los geles lácteos con carragenina, al reducir el porcentaje de sinéresis, también se observó que la adición de FA tiene un efecto mínimo en las demás propiedades texturales evaluadas en esta investigación.

## REFERENCIAS

- Alais, C. (1985). *Ciencia de la leche: Principios de técnica Lechera*, 4ª ed., España:Reverté.
- Alarcón-Ulloa, Y. S. (2003). Evaluación del uso de carragenina en bebidas lácteas fermentadas. Tesis de licenciatura de Ingeniería en Alimentos, Valdivia, Chile: Universidad Austral.
- AMISAC (2017). Producción de Sal. Consultado: Junio 12, 2017. Disponible en [www.amisac.org.mx/produccion](http://www.amisac.org.mx/produccion).
- Anton Paar (2011). Manual densímetro DMA500. Austria, Anton Paar.
- Bhattacharya, S., Jena, R. (2007). Gelling behaviour of defatted soybean flour dispersions due to microwave treatment: textural, oscillatory, microestructural and sensory properties, *Journal of Food Engineering*, 78, 1305-1314.
- Bonet, J., Serra, U. (2004). *Leche, Lácteos y Salud*. Madrid: Medica Panamericana Madrid.
- Bello-Gutiérrez, J (2000). *Ciencia Bromatológica*, 1ª ed., México: Ediciones Díaz de Santos.
- Benichou, A., Aserin, A., Garti, N. (2002). Protein-polysaccharide for stabilization of food emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 23, 93-123.
- Blakemore, W. R., Harpell A. R. (2010). Carrageenan. In: *Food Stabilisers Thickeners and Gelling Agents* (A. Imeson, ed.), Pp. 73-88. UK: Wiley-Blackwell.
- Boatella Riera, J., Codony Salcedo, R., López Alegret, P. (2004). *Química y Bioquímica de los Alimentos II*. Barcelona, España: Universidad de Barcelona.
- Chacón-Villalobos, A. (2006). Perspectivas agroindustriales actuales de los oligofruetosacáridos. *Agronomía Mesoamericana*, 17, 265-286.
- Crispín-Isidro, G. Lobato-Calleros, C., Espinosa-Andrews, H., Alvarez-Ramirez, J., Vernon-Carter, E. J. (2015). Effect of inulina and agave fructans addition on the rheological microestructural and sensory

- properties of reduced-fat stirred yogurt. *Food Science and Technology*, 62,438-444.
- Cui, S. W. (2005). *Food Carbohydrates*, 1ª ed. USA: Taylor & Francis.
- Dickinson, E. 1998. Stability and rheological implications of electrostatics milk protein-polysaccharide interactions. *Trends in Food Science and Technology*, 9,347-354
- Fennema, O. R. (2000). *Introducción a la Química de los Alimentos*, 2ª ed. España: Acribia.
- Gaspoz, J. (2008). Diseño de biomateriales por coacervación de proteínas de suero lácteo y alginato de sodio: efecto del pH y fuerza iónica. Segundo encuentro de jóvenes investigadores de ciencia y tecnología de materiales: Octubre 16-17; Pp 1-6. Buenos Aires, Argentina.
- Gelymar (2016). Flan base, Boletín de aplicación. Santiago, Chile: Gelymar.
- Gelymar (2017). Carrageninas. Consultado: febrero 13, 2016. Disponible en [www.gelymar.com](http://www.gelymar.com).
- Gil, M. A (2010). *Preelaboración y Conservación de Alimentos*. España:Akal.
- Gillespie, R. J. (1990). *Química*, Vol 2. Reverté, España.
- Jiménez-Guzmán, J., Gómez- Ruiz, L., García-Garibay, M. (2003). Efecto del tratamiento térmico de la actividad y aplicaciones tecnológicas de diversas enzimas. *Información Tecnológica*, 14, 7-11.
- Kelvin, K.T., Sarkar, A., Singh, H. (2014). Milk protein-polysaccharide interactions. *In: Milk Proteins From Expression to Food* (H. Singh, M. Boland, A. Thompson, eds.), Pp. 378-419. Holanda:Elsevier
- Langendorff, V., Cuvelier, G., Launay, B., Parker, A. (2000). Gelation and flocculation of casein micelle / carrageenan mixtures. *Food Hydrocolloids*, 1, 35-40.
- López, M. G., (2016). Fructanos de agave. Consultado: marzo 13, 2016. Disponible en [www.ira.cinvestav.mx](http://www.ira.cinvestav.mx)
- Luquet, M. F. (1993). *Leche y Productos Lácteos*. 1ª ed. España: Acribia. Fundación Universitaria Iberoamericana: Díaz de Santos.
- Makymat (2018). Carrageninas. Consultado: febrero 13, 2018. Disponible en

www.makymat.com.

- Mancilla-Margalli, N. A., López, M. G., Mendoza-Díaz, G. (2003). Molecular structures of fructans from *Agave tequilana* Weber var azul. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 7835-7840.
- Martínez, O. L., Román, M. O., Gutiérrez, E. L., Medina, G. B., Cadavid, M., Flórez, O. A. (2008). Desarrollo y evaluación de un postre lácteo con fibra de naranja. *Vitae*, 15,219-225.
- Martínez, M. J., (2010). *Impacto de la interacción entre  $\beta$ -lactoglobulina, caseinoglicomacropéptido y polisacáridos en coloides alimentarios*. Tesis Doctoral. Argentina: Universidad de Buenos Aires
- Meunier-Goddik, S.S. (2016). Liquid milk products: Pasteurized milk. *Food Science*, 36,135-138.
- Milke-Garcia, M.P., González-Saravia, A. (2016). La leche y la Salud, 1ª Ed. México.
- Moral-Garrido J. M. (2013). *Elaboraciones Básicas de Repostería y Postres Elementales*, I. C. Editorial, España.
- Ohaus (2001). Balanzas ohaus. Consultado: Enero 13, 2018. Disponible en [www.ohaus.com](http://www.ohaus.com).
- Ould Eleya, M. M., Turgeon, S. L. (2000). Rheology of k-carrageenan and B-lactoglobulin Mixed Gels. *Food Hydrocolloids*, 14, 29-40.
- Pérez, O., Wargon, V., Pilosof, A. (2006). Gelation and Structural Characteristics of Incompatible Whey Proteins/Hidroxypropylmethylcellulose Mixtures. *Food Hydrocolloids*, 20, 966-974.
- Ponce, J. A., Macías, E. R., Fernández, V. V., Zúñiga, V. (2008). Propiedades fisicoquímicas y reología no lineal de soluciones acuosas de fructanos de agave. *e-Gnosis*, 6. Consultado: febrero 13, 2016. Disponible en <http://revistascientificas.udg.mx>.
- Rapaille, T. A, Vanhemelrijck, J. (2000). *Tecnología de los Productos Lácteos*. Capítulo 9, Pp. 355-361, España: Acribia.
- Rodríguez-Rivera, V. M., (2008). *Bases de la Alimentación Humana*, 1ª ed. España: Gesbiblo.

- Romero, R., Lagarriga, J-M., (2004). *Productos Lácteos. Tecnología*. España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- González, R., Lizarraga, M., De Piante Vicin, D., Rubiolo, A. C., Santiago-Blanco, J.L. (2005). Efecto de la adición de carragenina sobre las propiedades reológicas del concentrado proteico de suero lácteo (WPC). En: *Proteínas Alimentarias y Coloides de Interés Industrial* (Girón-Calle. J., Pedroche. J., Rodríguez-Patiño. J.M., Millán. F, eds), Pp. 179-188. Sevilla, España.
- Sarria-Ruiz (1998). Efecto del tratamiento térmico de fórmulas infantiles y leche de vaca sobre la biodisponibilidad mineral y proteica. Tesis de Doctorado en Biología, Madrid, España: Universidad Complutense.
- Singh, H. (2011). Milk protein products. Functional properties of milk proteins in: Fuquay, J.W. Fox, P.F. McSweeney, P.I.H. (Eds.). *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 2ª ed., Pp 887-893. New York: Academic Press.
- Solís-Bravo, I.M. (2007). Estudio comparativo de las propiedades finales de extractos de carragenina k-I / k-II utilizando distintas algas productoras de carragenina k-II. Tesis de licenciatura de Ingeniería en Alimentos, Valdivia, Chile: Universidad Austral.
- Van de Velde, F., Peppelman, H., Rollema, H., Tromp, R. (2001). On the structure of  $\kappa/\lambda$  hybrid carrageenans. *Carbohydrate Research*, 331, 271-283.
- Van Vliet, T. (1996). Large Deformation and Fracture Behaviour of Gels. *Current opinion Colloid & Interface Science*, 1, 740,745.
- Verbeken, D., Bael, K., This , O., Dewettinck, K. (2006). Interactions between k-carrageenan, milk proteins and modified starch in sterilized dairy desserts. *International Dairy Journal*, 16, 482-488.
- Villanueva, R., Mendoza, W., Rodriguez, M., Romero, J., Montaña, M. (2004). Structure and functional performance of gigartinacean kappa-iota hybrid carrageenan and solieracean kappa-iota carrageenan blends. *Food Hydrocolloids*, 18, 283-292.
- Whistler, R.L., BeMiller, J.N., Paschall, E.F. (2012). *Industrial Gums. Polysaccharides and their Derivates*, 2ªed. New York. Academic Press.

Williams, P.A., Phillips G, O. (2004). *Gums and Stabilisers for the Food Industry*, Vol. 12. London, U.K: Royal Society of Chemistry.