

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**EMPLEO DE HIDROCOLOIDES EN LA ELABORACIÓN  
DE QUESO FRESCO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:**

**JONATHAN ELIZALDE BADILLO**

**ASESORA: DRA MA. ELENA VARGAS UGALDE**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

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

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

**Empleo de hidrocoloides en la elaboración de queso fresco.**

Que presenta el pasante: Jonathan Elizalde Badillo  
 Con número de cuenta: 098255953 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 20 de Febrero de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Dra. María Elena Vargas Ugalde	
<b>VOCAL</b>	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
<b>SECRETARIO</b>	Dra. Carolina Moreno Ramos	
<b>1er. SUPLENTE</b>	I.A. Verónica Romero Arreola	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en I. Miguel de Nazareth Pineda Becerril	

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

LMCF/cga\*

## DEDICATORIAS

*A mis padres por haberme apoyado durante mi estancia en la FES Cuautitlán.*

*A mi mamá que siempre ha estado conmigo en las buenas y en las malas y que gracias a ella y a todo lo que me ha enseñado pude terminar con este trabajo, gracias por tu ayuda sin tí no hubiera podido terminado este proyecto.*

*Agradezco a la UNAM por todo lo que me ha enseñado y a todos los profesores con los que tuve el gusto de conocerlos.*

*Agradezco todo el apoyo y paciencia que me brindo mi asesora de tesis durante la realización de este proyecto Dra Ma. Elena Vargas Ugalde.*

*Agradezco a la profesora Dora Luz Villa Gómez Zavala por el apoyo que me brindo durante el inicio de esta tesis.*

*Agradezco a la empresa DANISCO por el aporte que hizo durante este proyecto.*

*Por último quiero agradecer a todos con los que compartí buenos momentos en la FES Cuatitlán pero en especial a Roger, Gerardo (Ronald), Víctor, Marco, Octavio, Mauricio (Chelíto), Astrid, Erendira, Ama, Janeth, Lupita, Rulo y Damían.*

## INDICE

Página

RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	10
CAPITULO 1.ANTECEDENTES.....	12
1.1 Leche.....	12
1.2 Composición de la leche.....	13
Agua.....	14
Grasas.....	14
Lactosa.....	14
Sustancias nitrogenadas de la leche.....	15
Enzimas.....	15
Vitaminas.....	16
Minerales y Ácidos orgánicos.....	17
1.3 Queso.....	17
1.3.1 Historia.....	17
1.3.2 Definición.....	18
1.3.3 Importancia nutritiva del queso.....	18
1.3.4 Clasificación de los quesos.....	18
1.4 Manufactura de quesos.....	19
1.4.1 Pasos esenciales en la elaboración de un queso por vía enzimática.....	24
1.4.2 Diferencias en la elaboración de un queso por vía ácida.....	24
1.4.3 Principales ingredientes del queso.....	24
1.4.4 Rendimiento quesero.....	25
1.5 Empleo de hidrocoloides en la industria láctea.....	26
1.5.1 Clasificación de hidrocoloides.....	27
1.5.2 Aplicación y selección de hidrocoloides.....	28
1.6 Propiedades funcionales de hidrocoloides.....	28
1.6.1 Aplicación de gomas en los alimentos.....	42
1.6.2 CMC(Carboximetilcelulosa), Carragenina y Algarrobo.....	42
1.7 Textura.....	46

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	51
2.1 Objetivos.....	51
2.2 Cuadro Metodológico.....	52
2.3 Materiales y Métodos.....	53
2.3.1 Determinación de pH.....	56
2.3.2 Determinación de Acidez titulable:.....	56
2.3.3 Determinación de Color.....	56
2.3.4 Determinación de textura.....	57
2.3.5 Determinación de Actividad de agua.....	59
2.3.6 Determinación de Humedad.....	59
2.3.7 Determinación de Grasa.....	59
2.3.8 Determinación de Proteína.....	60
2.3.9 Determinación de Rendimiento.....	60
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
3.1 Determinación de pH.....	62
3.2 Determinación de Acidez.....	63
3.3 Determinación de color.....	64
3.4 Determinación de TPA (Análisis de perfil de Textura).....	65
3.5 Determinación de Prueba de corte.....	68
3.6 Determinación de Actividad de agua Aw.....	70
3.7 Contenido de humedad.....	70
3.8 Contenido de Grasa.....	71
3.9 Determinación de Proteína.....	72
3.10 Determinación del Rendimiento para la formulación de queso a partir de 5 kilogramos de leche.....	73
3.11 Gráficos de contorno y de superficie de respuesta para el Rendimiento, Proteína, Grasa, Humedad, Aw y pH.....	74
CONCLUSIONES.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	80

## INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Producción y consumo de leche fluida en México .....	13
Cuadro 2. Composición general de la leche .....	17
Cuadro 3. Clasificación de las gomas.....	28
Cuadro 4. Composición de Polisacáridos más importantes.....	31
Cuadro 5. Solubilidad de CMC en función del grado de sustitución .....	43
Cuadro 6. Características estructurales comunes de las galactanas de algas.....	44
Cuadro 7. Propiedades comparativas de las carrageninas. ....	45
Cuadro 8. Concentraciones de hidrocoloides utilizadas en el queso .....	54
Cuadro 9. Concentraciones de hidrocoloides (Simplex Reticular con dos réplicas).....	55
Cuadro 10. Determinación de pH .....	62
Cuadro 11. Determinación de Acidez. ....	63
Cuadro 12. Determinación de color.....	64
Cuadro 13. Diferencias de color.....	65
Cuadro 14a. Resultados obtenidos del grafico de TPA para el tratamiento numero 8....	66
Cuadro 14b. Resultados obtenidos del grafico de TPA para el tratamiento numero 8....	66
Cuadro 15. Determinación de TPA (Análisis de perfil de Textura).....	67
Cuadro 16. Resultados obtenidos del grafico de prueba de corte para el tratamiento numero 8.....	68
Cuadro 17. Determinación de Prueba de corte .....	69
Cuadro 18. Determinación de Actividad de agua Aw .....	70
Cuadro 19. Contenido de humedad de los quesos elaborados.....	71
Cuadro 20. Contenido de Grasa.....	72
Cuadro 21. Determinación de Proteína. ....	73
Cuadro 22. Determinación de Rendimiento (5 kg de leche) .....	74

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura de las exportaciones de grupos de productos seleccionados .....	13
Figura 2. Criterios de clasificación del queso.....	19
Figura 3. Diagrama general para la elaboración de queso fresco .....	23
Figura 4. Monosacáridos que se encuentran en los polisacáridos .....	30
Figura 5. Interacciones intercatenarias entre secuencias de conformación regular.....	33
Figura 6. Variación típica de viscosidad con la temperatura de una disolución al 2% de carboximetilcelulosa.....	35
Figura 7. Viscosidad de las disoluciones al 2% de carragenato, agar y agarosa.....	36
Figura 8. Ciclo de disolución y gelificación de un agaroides y representación esquemática de la formación del gel al enfriar .....	36
Figura 9. Sinergismo entre carragenato y goma de algarrobo .....	41
Figura 10. Curva de flujo de una mezcla 1:1 de carragenato y goma de algarrobo medida a 60°C, incluyendo una representación esquemática de la evolución de la estructura.....	41
Figura 11. Diagrama de la estructura en bloques de la goma de algarrobo.....	46
Figura 12. Curva característica de TPA.....	48
Figura 13. Elaboración de queso fresco. ....	53
Figura 14. Gráfico de TPA para el tratamiento número 8. ....	66
Figura 15. Gráfico de prueba de corte para el tratamiento número 8.....	68
Figura 16. Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para rendimiento.....	74
Figura 17. Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para proteína.....	75
Figura 18. Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para grasa.....	76
Figura 19. Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para humedad. ....	76
Figura 20. Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para Aw. ....	77
Figura 21. Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para pH. ....	77

## RESUMEN

El propósito de esta investigación fue aumentar el rendimiento en el proceso de elaboración de queso fresco para reducir la cantidad necesaria de leche para su fabricación y con ello los costos de su producción mediante el empleo de hidrocoloides. El presente trabajo se llevó a cabo en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM y en la empresa DANISCO S.A.

Para esto primero se estableció un diseño Simplex Reticular para mezclas de tres componentes para conocer la distribución de hidrocoloides en la experimentación y así proceder con el efecto que tuvieron estos en el queso tanto de manera individual como su mezcla.

Con esta finalidad se evaluó la adición del 0.05% de concentración final del hidrocoloide o hidrocoloides utilizados en el queso, estos fueron carragenina, CMC (carboximetilcelulosa) y algarrobo, las mezclas resultantes fueron: 1. Cada hidrocoloide se ocupó al 100% sin mezclar con otro hidrocoloide. 2. Cada hidrocoloide se ocupó en igual proporción 33% de cada uno. 3. La tercera y última variación de las mezclas fue del 66% de un hidrocoloide y 16% de los otros dos respectivamente, es decir una vez se utilizó carragenina al 66% de concentración, lo mismo que con la CMC y el algarrobo.

Se evaluaron los siguientes parámetros en los quesos: pH utilizando un potenciómetro digital, porcentaje de acidez por titulación con NaOH 0.1N y expresado en porcentaje de ácido láctico, actividad de agua usando el determinador Aqualab, análisis de perfil de textura (TPA) y esfuerzo de corte utilizando el texturómetro TATX2 (TextureAnalyser, Stable Microsystems, RU) con una celda de carga de 10N, humedad por pérdida de peso por evaporación del agua, grasa por el método GerberVangulik, que se basa en la digestión parcial de los componentes del queso, excepto la grasa, en ácido sulfúrico, proteína por el método MicroKjeldhal, color utilizando un colorímetro Minolta CR 300 y rendimiento por balance de masa. Las evaluaciones se realizaron al día siguiente de hacer el queso. Los resultados se analizaron estadísticamente por medio de un análisis de varianza usando el paquete Minitab 15.

El nivel de uso de cada hidrocoloide no afectó el pH, aw ni humedad en los quesos, pero si afectó el rendimiento, la grasa, proteína, color y la textura, haciéndolos generalmente más firmes y brillosos teniendo como resultado un queso fresco de mayor aceptabilidad para el consumidor.

Los mayores rendimientos se obtuvieron empleando únicamente carragenina o utilizando una mezcla de CMC y algarrobo.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el queso tanto fresco como madurado es uno de los principales productos en el mundo. Según la Organización para Alimentación y la Agricultura (FAO) de las Naciones Unidas, en 2004 se produjeron a nivel mundial más de 10 millones de toneladas. Esta cantidad es superior a la cantidad de producción anual de café, hojas de té, granos de cacao y tabaco (USDA, 2005).

El mercado mexicano de quesos se ha enfocado a la producción de quesos frescos, representando cerca del 85% de la producción nacional, según un reporte publicado por el Consejo Lácteo de EU. Se indica que en México la producción de quesos frescos supera por mucho la de los quesos madurados y semimadurados, que representan el 15% de la producción restante. El consumo anual de queso por los mexicanos es de 2 kg anuales en promedio. Sin embargo, éste se ha venido incrementando 35% en los últimos 10 años (SAGARPA-CONACYT, 2007).

En vista de los cambios cada vez más acelerados que se están dando en nuestro entorno comercial, se hace necesario renovar los estándares de muchos productos, entre ellos los lácteos, para adecuarlos a los requerimientos actuales y de esta forma hacerlos más competitivos contra productos extranjeros, sin afectarles sus características originales y finales del queso fresco. Una forma de lograrlo sería reducir el costo en la formulación, usando una alternativa altamente funcional que sustituya hasta en un 30% o 40% la caseína y el caseinato de sodio o calcio, según dicha formulación, sin que se pierda la textura del queso y se mejore esta cualidad o bien, buscar aumentar el rendimiento del proceso ya que, a partir de 10 litros de leche se obtienen de 1 a 2kg de queso (Canales y Mateo, 2000).

Es importante encontrar la manera de aumentar el rendimiento en el proceso de elaboración de queso fresco para reducir la cantidad necesaria de leche para su manufactura y con ello los costos de producción. El rendimiento quesero se ve directamente influenciado por la composición química de la leche, especialmente en sus constituyentes principales: grasa y proteína (Martí, 2000).

Maubois y Mocquot (1967) observaron que cuando queda retenida una cantidad mayor de lactosuero en la cuajada, el peso de la materia seca proveniente de este líquido, se añadió a la materia grasa y a la caseína contenida en el queso. Las diferencias del contenido de agua, ligado a diferencias en el grado de desuerado, entrañan por

consecuencia, variaciones paralelas del rendimiento en el peso del queso, fresco o seco (Verdalet, 1991).

Los hidrocoloides, son aditivos alimentarios que modifican la textura en el producto final, optimizando la cohesividad, consistencia, apariencia y retención de agua. Además permiten reducir costos a través de la disminución del contenido de sólidos por el reemplazo de las proteínas y la materia grasa de las formulaciones, mantenido la textura del producto final (Ruiz, 2007). Algunos polisacáridos (pectina, almidón modificado, goma xantana, gomagarrofin, goma guar, alginato, etc) se añaden a los productos lácteos para estabilizar su estructura, mejorar la viscosidad y alterar sus características texturales(Černíková et al, 2008).

En este trabajo se estudiaron tres hidrocoloides: Carboximetilcelulosa de Sodio (CMC), K-Carragenina (KC) y Algarrobo (Al), en la formulación del queso, solos y mezclados entre sí, para aumentar el rendimiento del queso fresco con el fin de reducir costos, sin modificar las características del producto final.

## **CAPITULO 1.ANTECEDENTES.**

### **1.1 Leche.**

La leche es una mezcla de proteínas, grasas, carbohidratos, sales y agua en equilibrio dinámico. Los compuestos se encuentran en suspensión coloidal, en emulsión o en solución. Los diferentes productos lácteos son preparados por la alteración de la composición y el estado físico de la leche. En la industria de los quesos, la calidad y la correcta preparación de leche es indispensable para obtener quesos de buena calidad microbiológica, nutricional y organoléptica que permita reducir los efectos de fabricación (Early, 1998).

La leche es un producto que se deteriora rápidamente, sobre todo en los países de climas templados y cálidos, ya que está constantemente siendo invadida por numerosos microorganismos. La actividad biológica de estos microorganismos se acelera con la temperatura y con la facilidad que tienen las bacterias de dispersarse en un medio líquido. Por ello, muchas técnicas industriales se basan en aplicar procedimientos químicos o físicos para retrasar el inicio de dicha actividad (Alimentaria, 2008).

Una técnica que se aplica en las explotaciones y en la industria es la elaboración de yogures y quesos; especialmente los quesos, con el desuerado de la cuajada, eliminan la mencionada facilidad de expansión de los microorganismos.

Actualmente, la industria coagula la leche utilizando diversas técnicas. Está, en primer lugar, la coagulación fermentativa que se realiza mediante una enzima natural que es el cuajo, en el que el principio activo se llama renina. La renina se extrae de los cuajares (estómagos de los rumiantes), pero también se obtiene de bacterias genéticamente modificadas. La renina, que es un producto caro, se adultera con pepsina de estómagos de cerdos (Alimentaria, 2008).

La industria láctea es uno de los sectores alimentarios que más apuesta por la innovación, a través de un amplio número de lanzamientos de novedosos productos. Quesos con menor contenido en grasa, con diferentes especias añadidas; innovaciones en el envasado y en las presentaciones (precortados, envasados individualmente) (Alimentaria, 2011). En cuanto a la producción y consumo de leche en México según estudios de SAGARPA (2011) se prevé durante ese periodo de 11 mil millones de litros (mml) a 12.5 mml y de 4.4 a 4.8 mml respectivamente. (Ver cuadro 1). En la figura 1 se puede observar la estructura de las exportaciones de grupos de productos alimenticios seleccionados y vemos que la exportación de leche se encuentra en quinto lugar con respecto de los demás grupos de productos alimenticios (INEGI, 2014).

Cuadro 1. Producción y consumo de leche fluida en México

Año calendario	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Millones de litros												
<b>Leche fluida</b>												
Producción	10,549.0	10,874.0	11,031.0	11,386.7	11,620.3	11,801.0	11,951.2	12,085.4	12,185.4	12,293.6	12,452.7	12,590.8
Importaciones	43.5	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9
Oferta total	10,592.5	10,913.9	11,070.9	11,406.6	11,660.2	11,840.9	11,991.1	12,125.3	12,225.3	12,333.5	12,492.6	12,630.7
Exportaciones	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Consumo	4,295	4,383	4,441	4,491	4,544	4,592	4,639	4,683	4,724	4,760	4,791	4,842
Uso industrial	6,297.8	6,550.9	6,629.8	6,915.7	7,116.1	7,249.3	7,352.2	7,441.9	7,501.2	7,573.8	7,701.9	7,789.0
Demanda total	10,593	10,914	11,071	11,407	11,660	11,841	11,991	12,125	12,225	12,334	12,493	12,631
(Litros per capita)												
Consumo per cápita	38.8	38.8	39.0	38.9	38.8	38.7	38.7	38.6	38.5	38.3	38.2	38.2

SFA-SAGARPA *Perspectivas de largo plazo para el sector agropecuario de México 2011- 2020*

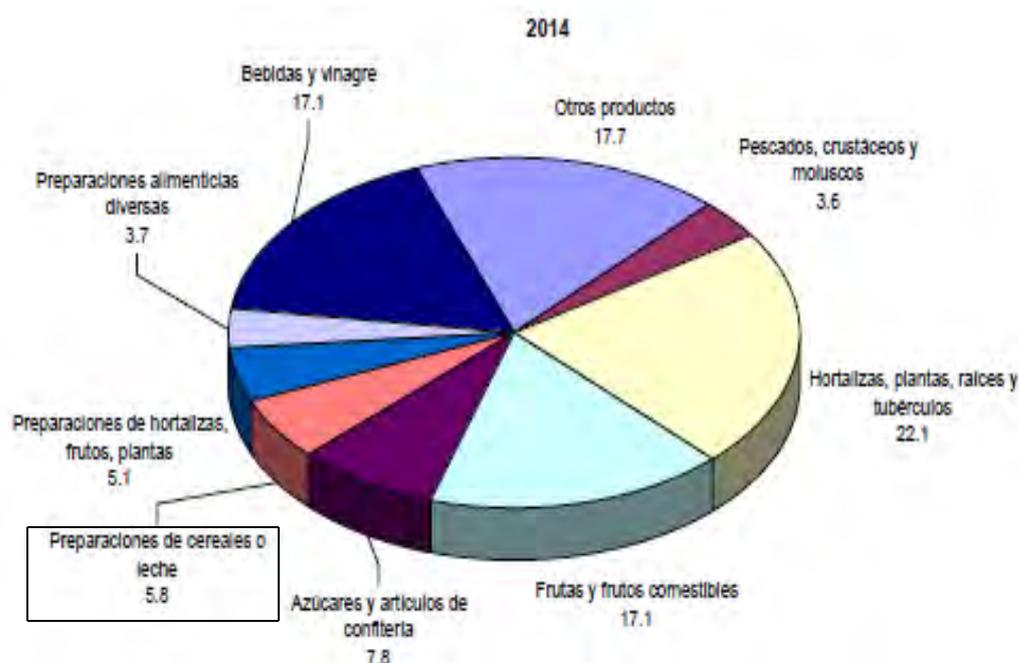


Figura 1. Estructura de las exportaciones de grupos de productos alimenticios seleccionados

## 1.2 Composición de la leche.

La leche es un líquido de composición compleja, blanco, opaco, de sabor dulce y reacción iónica; con un pH muy cercano a la neutralidad. La leche es una emulsión de materia grasa, asimismo es una suspensión de materias proteicas en un suero constituido por una solución verdadera que contiene principalmente, lactosa y sales minerales. Por lo tanto, existen en la leche cuatro tipos de componentes importantes: grasa, proteínas (caseína y albuminoides), lactosa y sales. Además están presentes otros componentes

en cantidades mínimas: lecitinas, vitaminas, enzimas, nucleótidos, gases disueltos, etcétera (Alais, 1970).

### **Agua.**

El agua constituye la fase continua de la leche y es el medio de soporte para sus componentes sólidos y gaseosos. Se encuentra en dos estados.

I) Agua libre: (intersticial): Representa la mayor parte del agua y en ésta se mantiene en solución de lactosa y las sales. Es esta el agua que sale de la cuajada en forma desuero.

II) Agua de enlace: Esta agua es el elemento de cohesión de los diversos componentes no solubles y es adsorbida a la superficie de estos compuestos; no forma parte de la fase hídrica de la leche y es más difícil de eliminar que el agua libre (Madrid,1996).

### **Grasas.**

Debido a diversos factores que intervienen en la composición de la leche el contenido de grasa en la leche vacuna varía notablemente; los valores porcentuales más comunes se encuentran entre 3.2 y 4.2%.

La materia grasa está constituida por tres tipos de lípidos:

- a) Las sustancias grasas propiamente dichas es decir los triglicéridos, que forman el 96% del total de la materia grasa.
- b) Los fosfolípidos, que representan entre el 0.8 y el 1%.
- c) Sustancias no saponificables que constituyen otro 1%.

El resto lo constituyen diglicéridos, monoglicéridos, ácidos grasos libres, etc (García, 1987).

### **Lactosa.**

De todos los componentes de la leche es el que se encuentra en mayor porcentaje, del 4.7 al 5.2%, siendo además el más constante. La lactosa es un carbohidrato disacárido (el “azúcar” de la leche) y se halla libre en suspensión.

Químicamente, la lactosa es un disacárido de glucosa y galactosa. En la leche se hallan dos isómeros de la lactosa: la  $\alpha$ -lactosa y la  $\beta$ -lactosa; es poco soluble en agua y cristaliza muy rápido. La  $\beta$ -lactosa (63%) es la más soluble (hasta 17 g. en 100 ml. de agua), siendo la  $\alpha$ -lactosa (37%) la que cristaliza.

La alta temperatura degrada a la lactosa por encima de los 110 °C; a esta temperatura la lactosa hidratada ( $\alpha$ -lactosa) pierde su agua y se transforma en lactosa anhídrido. Luego, a temperaturas superiores a 130°C se produce la caramelización de la lactosa, tendiendo

a combinarse, sin embargo con los componentes nitrogenados de la leche (reacción de Maillard), entre el grupo carboxilo de la lactosa y los grupos aminos de las proteínas);esto hace que la leche tienda a tomar un tono pardo, siendo característico también en este caso el sabor a leche cocida (hervida) tal como se observa en leches muy esterilizadas. Por acción de bacterias lácticas, la lactosa fermenta dando ácido láctico:



**Lactosa**

**ácido láctico**

La lactosa es el factor limitante en la producción de leche, o sea que la cantidad de leche que se produce dependerá de la formación de lactosa. Se distingue de los demás azúcares por su estabilidad en el tracto digestivo del hombre y es la única fuente de galactosa para el hombre (Villegas A. 2003).

### **Sustancias nitrogenadas de la leche.**

Las sustancias nitrogenadas constituyen la parte más compleja de la leche. Dentro de estas sustancias están las proteínas (las más importantes) y sustancias no proteicas.

Las sustancias proteicas de la leche pueden clasificarse en dos grupos:

D) Holoprotidos:

Son llamadas las proteínas solubles de la leche y se hallan en el lactosuero, producido cuando se coagulan las proteínas y constituyen el 17% del total de proteínas de la leche.

Los principales holoprotidos presentes en la leche son: lactoalbuminos, lactoglobulina, inmunoglobulina y seroalbúmina. Tienen un gran valor nutritivo.

b) Heteroprotidos:

El principal heteroprotido de la leche es la caseína; la caseína comprende un complejo de proteínas fosforadas que coagulan en la leche a un pH de 4.6 (punto isoelectrico) o cuando se hallan bajo la acción de enzimas específicas como el cuajo, se les llama proteínas insolubles, constituyen el 78% del total de las proteínas de la leche. Aunque genéricamente se llama caseína, en realidad existen varias caseínas: la  $\alpha$ -caseína, la  $\beta$ -caseína, la  $\beta$ -caseína y la caseína D (Chombo, 2002).

### **Enzimas.**

La leche contiene varias enzimas. Algunas se hallan en las membranas de los glóbulos de grasa, por lo que son arrastradas cuando se separa la crema; entre ellas están las reductazas aldehídicas, fosfatasas, etc.

Otras enzimas flocculan con la caseína a pH 4.6, por ejemplo las proteasas, catalasas, etc. Muchas veces es difícil saber el origen de las enzimas, ya que las bacterias que pueden hallarse semejantes a los que se sintetizan en las glándulas mamarias. La actividad enzimática de la leche depende del pH y de la temperatura. La elevación de la temperatura a más de 70°C provoca su destrucción.

Las principales enzimas presentes en la leche son las siguientes: la lactoperoxidasa, reductasa, lipasa (asociada a la membrana del glóbulo de grasa), catalasa, lipasas (responsables de la rancidez de la leche), fosfatasa (en la membrana del glóbulo de grasa), proteasas (asociadas a la caseína), amilasas (hay enzimas desnitricantes y enzimas sacarificantes,  $\alpha$  y  $\beta$  amilasas respectivamente), lisozima (es importante desde el punto de vista de la nutrición ya que facilita la precipitación de la caseína en forma de floculo lo que mejora su digestibilidad; por otra parte posee propiedades bacteriostáticas) (Paniagua, 2008).

### **Vitaminas.**

La leche es el alimento que contiene la variedad más completa de vitaminas, sin embargo, estos se hallan en pequeñas cantidades y algunos no alcanzan para los requerimientos diarios. Las vitaminas se clasifican en dos grupos según sean solubles en lípidos o en agua.

#### **I) Vitaminas liposolubles:**

Son las vitaminas A (100 a 500 mg/litro); vitamina D (2 mg/litro); vitamina E (500 a 1000 mg/litro); vitamina K (solo hay trazos). Estas vitaminas son resistentes al calor, se hallan en la materia grasa y son menos abundantes (solo la D), que en la leche humana.

#### **II) Vitaminas hidrosolubles:**

Se hallan en la fase acuosa y son: vitamina B1 (tiamina o aneurina) y vitamina B2 (riboflavina o lactoflavina): estas dos son las más abundantes: 400 a 1000 mg/litro de la B1 y 800 a 3000 mg/litro de B2; vitamina B12 (cianocobalamina) esta presente en muy pequeñas cantidades; vitaminas PP ácido nicotínico): 5 a 10 mg/litro; vitamina C (ácido ascórbico): 10 a 20 mg/litro.

De las vitaminas hidrosolubles la leche vacuna tiene más vitaminas del complejo B que la leche humana; algunos son muy resistentes a las temperaturas altas (como la B1) mientras que otros se destruyen fácilmente con el calor (como la C) (Villegas .A 2003).

## Minerales y Ácidos orgánicos.

En la leche vacuna la cantidad de minerales varia en alrededor de 0.8%.Es rica en potasio, siendo importante también la presencia de fósforo, calcio y magnesio; el contenido de minerales es bastante superior al existente en la leche humana. En cuanto a los ácidos orgánicos, la presencia más importante es la del ácido cítrico que interviene en el equilibrio de calcio en las micelas de caseína, contiene además, pero en muy pequeñas cantidades ácido fórmico, acético y láctico (Villegas .A2003).

La composición general de la leche se muestra en el cuadro 2, en la que los datos cuantitativos son sólo aproximados, ya que varían en función de múltiples factores. La composición exacta de una muestra de leche únicamente se puede conocer mediante su análisis químico (Amiot, 1991).

Cuadro 2.Composición general de la leche

COMPONENTES MAYORITARIOS.	%
I. Agua	86.90
II. Materias grasas.	3.90
III Proteínas y sustancias nitrogenadas no proteicas.	3.20
IV Carbohidratos	5.10
V Sales.	0.90
COMPONENTES MINORITARIOS.	Trazas
VI Enzimas.	
VII Vitaminas.	
VIII Pigmentos. (carotenos, xantofilas, riboflavinas)	
IX Células diversas. (células epiteliales, leucocitos, bacterias, levaduras, mohos)	
X Otros elementos. (dióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno y otros gases)	
XI Sustancias extrañas.	

Fuente: Amiot, 1991

## 1.3 Queso.

### 1.3.1Historia.

Los orígenes del queso están en discusión y no se pueden dar datos con exactitud, aunque se estima que se encuentran alrededor del año 8000 AC (Bamforth, 2005). Existe una leyenda que dice que fue descubierto por un mercader árabe, quien mientras realizaba un largo viaje por el desierto, puso leche en un recipiente fabricado a partir del

estómago de un cordero. Cuando fue a consumirlo vio que estaba coagulado y fermentado. Hay otros autores que señalan que el queso ya se conocía, pero no se ha podido comprobar (Early, 1998). Probablemente el queso surgió como una manera de conservar la leche, antes de usar un fermento por primera vez, quizá al comprobar que los quesos hechos en el estómago de animales tenían mejor y más sólida textura (Marín, 1999).

### **1.3.2 Definición.**

Se puede definir el queso como el producto de la coagulación y fermentación de la leche entera, semi ó descremada, con ó sin agregado de cultivos lácticos, coagulada por acción de la renina ó por medio de ácidos, con ó sin cocción de la cuajada, con mayor ó menor tiempo de maduración. De la definición se puede deducir una amplia posibilidad de variaciones en el producto que se obtiene según como se elabore. Se conocen actualmente más de 2000 variedades de quesos en el mundo que derivan de unos 20 tipos básicos (Eck, 1990).

Según la norma **NOM-121-SSA1-1994**, el queso es un producto elaborado con la cuajada de leche estandarizada y pasteurizada de vaca o de otras especies animales, con o sin adición de crema, obtenida por la coagulación de la caseína con cuajo, cultivos lácticos o enzimáticos, ácidos orgánicos comestibles con o sin tratamiento térmico, drenada, prensada o no, con o sin adición de fermentos de maduración, mohos especiales, sales e ingredientes comestibles opcionales. Por su proceso se da lugar a diferentes variedades de queso fresco, semimadurado y madurado.

### **1.3.3 Importancia nutritiva del queso.**

Los quesos son más fácilmente digeridos que la leche esto es debido a que tienen menor cantidad de lactosa ya que cuando se produce el queso se separa el suero de la leche que es el que contiene mayor cantidad de lactosa, por lo cual muchas veces son mejor aceptados. Además nunca han sido descritos casos de alergia alimentaria al queso (Eck, 1990).

### **1.3.4 Clasificación de los quesos.**

El queso es producido en todo el mundo con una gran diversidad de sabores, aromas, texturas y formas, habiéndose recopilado en diversos catálogos y trabajos mas de 2000 variedades y tipos (Fox, 2000). No obstante, la mayoría de los quesos que se elaboran en México son frescos o de corta duración, algunos con buena aptitud para el fundido

(con pH entre 5.1 a 5.3) y algunos con propiedades de desmoronamiento o fragmentación (García, 2006; Jiménez, 2009).

Existen diversos criterios de clasificación con base en las condiciones de proceso o las características físicoquímicas del tipo de queso:

- ❖ Por contenido de humedad, se clasifican en quesos duros (20-42%), semiduros (44-55%) y blandos o suaves (aprox. 55%) (Scott, 1998).
- ❖ De acuerdo al tipo de coagulación de la caseína, se clasifican en quesos de coagulación enzimática, quesos de coagulación ácida y quesos de coagulación ácida/térmica (Dalglish, 1999; Fox, 2000; Gunasekaran, 2003).
- ❖ De acuerdo a su estado de maduración: fresco (6 días), semi-madurados (40 días) y madurados (> 70 días) (McSweeney, 2004).

En la figura 2 se muestra una representación que engloba estos criterios de clasificación (Farkye, 2004).

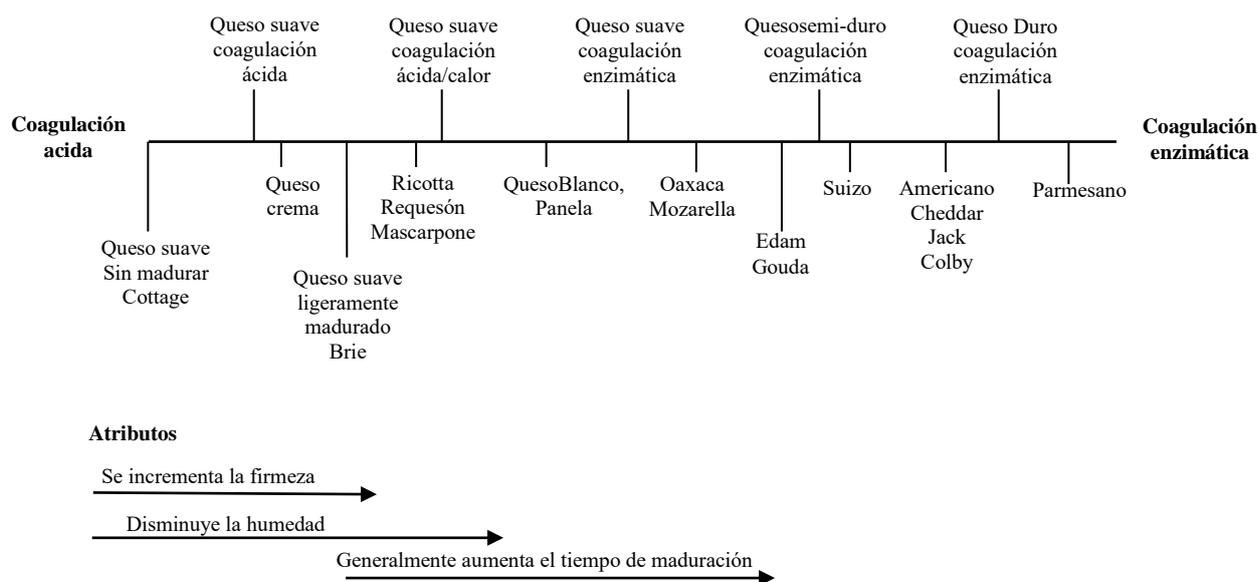


Figura 2. Criterios de clasificación del queso. Adaptado de Farkye (2004)

### 1.4 Manufactura de quesos.

Los quesos frescos se pueden elaborar por vía ácida o vía enzimática.

Consta de varias etapas:

- ❖ Estandarización de la leche
- ❖ Pasteurización y maduración de la leche con fermento
- ❖ Coagulación
- ❖ Cocción

- ❖ Desuerado
- ❖ Moldeo y prensado
- ❖ Salado
- ❖ Maduración

El carácter distintivo de cada tipo de queso no depende sólo del tipo de microorganismo predominante sino también el énfasis que se le dé a cada etapa de elaboración (Eck, 1990).

#### Homogeneización.

Es un proceso opcional que reduce el tamaño del glóbulo graso e incrementa al menos 10 veces su superficie. Los efectos de la homogeneización sobre la actitud quesera de la leche son varios y se aprovecha en los quesos de pasta blanda en los que se consigue:

- ❖ Reducir pérdida de materia grasa en el suero, por lo tanto aumenta el rendimiento
- ❖ Facilita el desarrollo de lipólisis en queso azul
- ❖ Mejora la textura en quesos blandos ó quesos crema
- ❖ Produce un queso blanco similar al de cabra u oveja

En los quesos de pasta semidura y dura la leche no se homogeneiza dado que el proceso puede afectar la actitud de coagulación de la leche (Schwartz, 1973).

#### Acción de la renina.

El proceso de coagulación se cumple en dos etapas. La primera estrictamente enzimática en donde la renina actúa sobre la kappa-caseína (protege la estabilidad de la micela de caseína) liberando un glicopéptido hidrofílico que reduce la carga superficial de las micelas y por lo tanto las fuerzas de repulsión electrostáticas que las mantiene separadas, lo cual desestabiliza el complejo de caseína y en presencia del catión calcio las micelas se polimerizan y coagulan (segunda etapa) para originar un gel. Para asegurar que esta segunda etapa sea instantánea, se agrega el catión calcio a la leche como cloruro de calcio, haciendo que el tiempo de coagulación dependa estrictamente de la acción enzimática de la renina.

La renina presenta máxima actividad ó pH ácido (=5.5) y prácticamente no actúa a pH mayor a 7. En la elaboración de quesos se coagula a pH =6.4-6.6, para ello, durante la etapa de maduración de la leche con el fermento, se baja el pH a esos valores que favorecen la acción de la renina. En cuanto a la temperatura entre 35-40 °C se logra máxima actividad (Alais, 1970).

### Coagulación.

Luego de pasteurizar la leche ya en la tina de elaboración a temperatura adecuada y agregando todos los ingredientes indicados y madurada se procede a agregar el cuajo, si el líquido se agrega directamente, si es cuajo en polvo se disuelve primero en agua potable (sin calentar) y se agrega a la tina, se homogeniza unos minutos y se deja reposar manteniendo la temperatura constante. El tiempo de cuajado varía según las condiciones establecidas para el proceso de acuerdo al tipo de queso. En el coágulo quedan atrapados los glóbulos de grasa, las bacterias y el suero que habrá que expulsar (Cavalier-Salou y Cheftel, 1991).

### Corte y cocción de la cuajada.

Una vez que la cuajada adquirió la consistencia adecuada al tipo de queso a elaborar se inicia la etapa de contracción de ésta y la liberación del suero ó sinéresis que permite regular la humedad final del producto. La sinéresis depende de (Inda, 2000):

- ❖ Velocidad y grado de acidificación (fermento)
- ❖ Temperatura
- ❖ Tamaño del grano
- ❖ Agitación

Para facilitar este proceso se procede al corte de la cuajada por medio de “liras”, primero manual y luego mecánicamente hasta lograr pequeños cubitos de cuajada cuyo tamaño varía con el queso a obtener (a mayor tamaño retienen mayor porcentaje de humedad). Con el corte de la cuajada se facilita la separación del suero lo cual se verá favorecido por la cocción posterior. A medida que avanza el corte con la lira se comienza a calentar la cuajada hasta llegar a la temperatura de cocción, en esas condiciones permanecerá un tiempo variable con agitación constante. Durante todo este tiempo las bacterias lácticas (fermento) acidifican la masa de la cuajada facilitando la separación del suero (Breidinger y Steffe, 2001).

Terminada la cocción se deja agitar y se decanta la cuajada cocida separándose el suero que se expulsa por bombeo. Algunos sistemas bombean el conjunto suero – cuajada a una desueradora automática que retiene la cuajada y permite la expulsión del suero por colado.

### Moldeo.

La masa fresca se va cortando en trozos de tamaño adecuado ya sea manualmente ó por medio de maquinas especiales, y se coloca en los moldes que pueden ser de acero

inoxidable ó plástico, los primeros se cubren interiormente con una tela para evitar que la cuajada salga del molde o que se pegue al mismo, permitiendo además la formación de una superficie lisa y compacta y un buen escurrimiento del suero.

Una vez moldeado el queso, se apilan los moldes y se someten al prensado hidráulico ó bien mecánico (aprox.  $2\text{kg/cm}^2$ ) en esta etapa se completa la expulsión del suero, se compacta la masa terminando de unir el grano y el queso tomará la forma definitiva.

La fuerza y tiempo de prensado está en relación al tipo de quesos a obtener y será mayor para los quesos duros que los blandos; puede variar de 30 minutos hasta 24 horas para los quesos duros. En este último caso el queso se desmolda y da vuelta una o más veces durante este período para lograr un prensado más uniforme (Cavalier-Salou y Cheftel, 1991).

#### Salado.

Los objetivos de esta etapa son los siguientes:

- ❖ Completar el drenado de suero por difusión
  - ❖ Mejorar la conservación del producto, sobre todo de la superficie del queso que puede ser atacada por diversos microorganismos que conducen a la putrefacción de la corteza.
  - ❖ Evita la implantación de microflora indeseable (la sal tiene un efecto selectivo sobre el desarrollo microbiano en la superficie del queso), sin inhibir el desarrollo de *Penicilium* que cubrirá la superficie del queso luego del salado.
  - ❖ Ayuda a seleccionar la flora normal del queso. En general las bacterias patógenas son sensibles a la sal (disminuye  $a_w$ ); las bacterias butíricas también son sensibles no tolerando más del 3 % de sal. El contenido de sal en los quesos oscila entre 0.7 y 3.0%. Las bacterias lácticas toleran como máximo 2-3% de sal (Schwartz, 1973).
- 
- ❖ Salado de la masa: La sal se agrega seca o como salmuera sobre la cuajada cuando ya se ha formado el grano del queso, tiene poco uso.
  - ❖ Salado con sal seca: Se cubren los quesos ya moldeados con sal seca, se aplica especialmente en quesos duros artesanales.
  - ❖ Salado en baño de salmuera: Se colocan los quesos en baños de salmuera una vez moldeados. Es el método tecnológicamente más apropiado porque se logra una distribución más uniforme de la sal en el queso y una corteza

más pareja; además se puede regular mejor el contenido final de sal en el queso. En general se emplea salmuera saturada. El tiempo de salado y concentración de la salmuera varía con el tipo de queso, siendo menor para los de pasta blanda. En los quesos de pasta dura se aplica un día de salmuera por kilogramo de queso (López, 2005).

En la figura 3 se muestra un esquema general para la elaboración de queso fresco, para el caso de quesos suaves la coagulación se desarrolla a temperatura de aproximadamente 38°C, mientras que para el queso tipo Oaxaca la temperatura debe alcanzar los 42°C, además algo distintivo es que se requiere una preacidificación de la leche, la cual se logra por la adición de cultivos iniciadores (Caro, 1998).

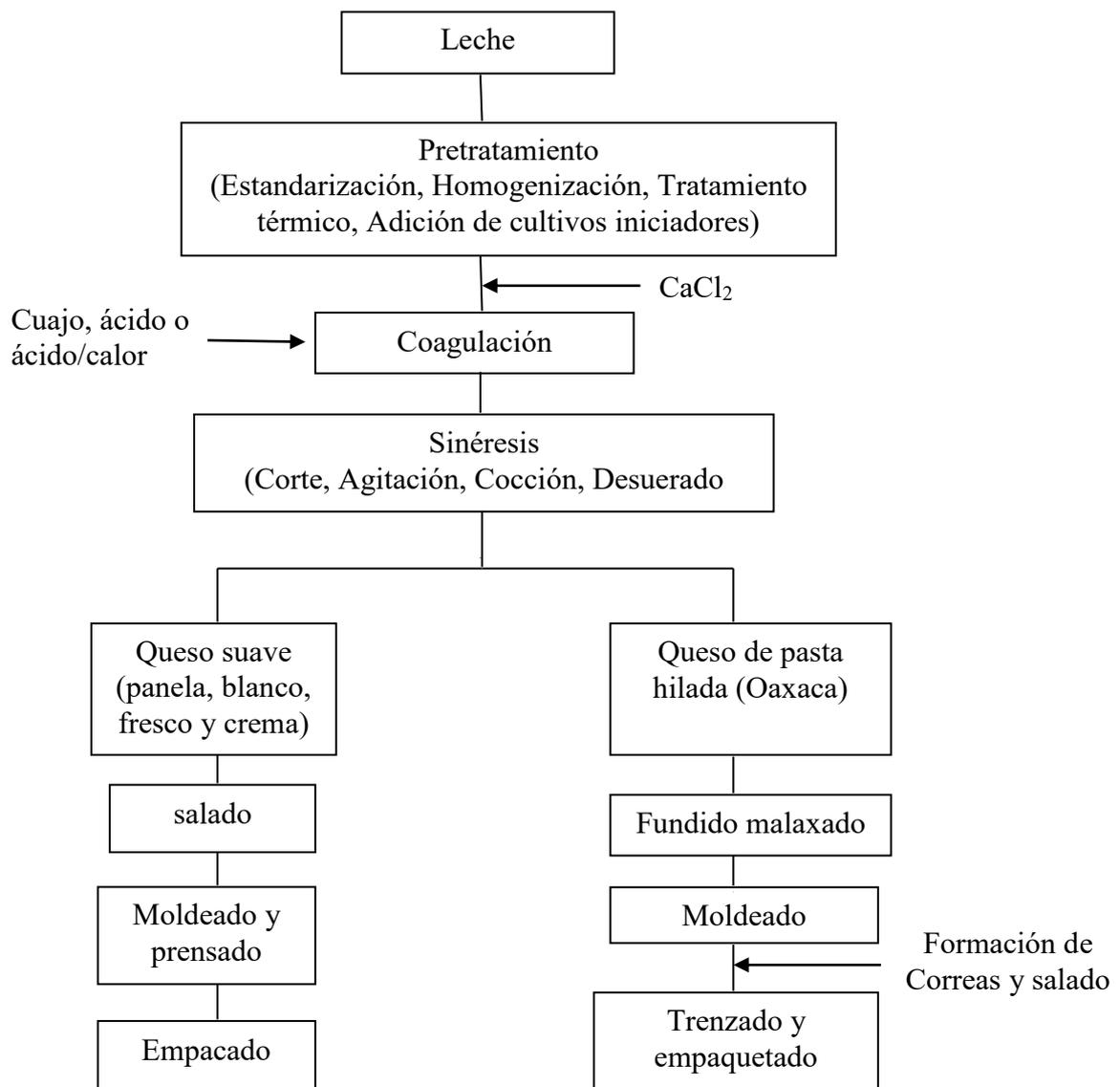


Fig 3. Diagrama general para la elaboración de queso fresco. Adaptado de Gunasekaran y Ak, (2003).

#### **1.4.1 Pasos esenciales en la elaboración de un queso por vía enzimática.**

Haciendo abstracción de los detalles particulares del proceso, se puede considerar que en la elaboración de la mayoría de los quesos “al cuajo” los pasos esenciales a seguir son los siguientes:

- ❖ Preparación de la leche. Implica estandarización, pasteurización, incorporación de aditivos y cultivos lácticos, y fijación de temperatura de cuajado.
- ❖ Cuajado. Adición del agente coagulante y determinación del punto de “corte”.
- ❖ Desuerado. Por cortado, trabajo del grano, cocimiento del grano, prepresado, salado en masa.
- ❖ Formateado. Moldeado, prensado.

#### **1.4.2 Diferencias en la elaboración de un queso por vía ácida**

Los quesos elaborados por vía ácida difieren de los elaborados por vía enzimática por el tipo de coagulación que se presenta, La coagulación ácida se diferencia de la enzimática, porque la caseína no sufre transformación a paracaseína. La coagulación se produce por una neutralización de la carga neta de la caseína causada por acidificación de la leche, ya sea por fermentación, o por agregado de ácidos, en la leche fresca con un pH alrededor de 6.7, las caseínas poseen cargas negativas y se repelen entre sí. Cuando la leche es acidificada, los iones de hidrógenos positivos del ácido son absorbidos por las caseínas, por lo que la carga negativa va disminuyendo y así también la repulsión entre ellas. La coagulación se da cuando ha disminuido la repulsión. La caseína se precipita en un pH de 4.6 y a 21°C, y así se produce una cuajada desmenuzable y sin cohesión. El tiempo de coagulación por vía ácida es de 15 minutos mientras que al utilizar cuajo líquido se requiere un mínimo de 30 minutos aproximadamente (Villegas, 2004).

#### **1.4.3 Principales ingredientes del queso.**

##### **Cloruro de calcio. ( CaCl<sub>2</sub>)**

El cloruro de calcio o cloruro cálcico (CaCl<sub>2</sub>) es una sal de calcio muy utilizada como aditivo alimentario. En la elaboración de quesos, se utiliza para reforzar el contenido en calcio de una leche que ha sido pasteurizada, proceso que en parte destruye el calcio natural. La falta de calcio impide un cuajado efectivo y con ello la elaboración. El cloruro de calcio puede encontrarse en forma de polvo o en solución líquida. El cloruro de calcio se utiliza para corregir los problemas de coagulación que se presenta en la leche almacenada por largo tiempo en refrigeración y en la leche pasteurizada. Su uso

permite las pérdidas de rendimiento a estos casos y permite obtener una cuajada más firme a la vez que permite acortar el tiempo de coagulación (Cervantes, 2008).

#### **Cloruro de sodio. (NaCl)**

La sal se adiciona con el objetivo de darle sabor al queso, aunque además sirve para alargar la vida útil de los mismos al frenar el crecimiento microbiano al disminuir la actividad de agua. El porcentaje ideal depende del tipo de queso y del gusto del consumidor aunque se puede decir que puede estar entre el 2 y el 3% (Varnam, 1994).

#### **Enzimas coagulantes.**

En los quesos elaborados mediante coagulación enzimática o mixta, las enzimas coagulantes constituyen un elemento esencial. En la industria quesera el método que más se utiliza es la coagulación enzimática de la leche. En este método se añade a la leche una enzima que tiene la propiedad de coagular el complejo caseína, con lo cual el fosfocaseinato cálcico que se encuentra en fórmula soluble en la leche se transforma por la acción de una enzima coagulante en fosfoparacaseinato de calcio insoluble. La enzima más utilizada en este proceso es la renina también conocida como cuajo natural, la cual es un complejo enzimático proteolítico, compuesto por quimosina y pepsina. (Dumais, 1991)

#### **Leche en polvo descremada.**

Se utiliza para corregir los sólidos no grasos de la leche en épocas que se encuentren disminuidos, se trata de pequeñas adiciones ya que las características de coagulación de la caseína proveniente de la leche en polvo no son las mismas que las de la leche fluida y se afecta la calidad final del queso cuando se utiliza en mayor proporción (Eck, 1990).

#### **1.4.4 Rendimiento quesero.**

Por rendimiento quesero debe entenderse la cantidad de producto obtenido a partir de un volumen determinado de leche, 100kg ó 100 litros.

En México es muy común, ante todo en las zonas tropicales, entender el rendimiento quesero como la cantidad de litros de leche necesarios para elaborar un kilogramo de queso.

El rendimiento puede ser medido directamente por peso del producto, o bien estimado a partir de cálculos simples que consideran el extracto seco del queso, de la leche y del suero (Villegas, 1993).

De manera concreta, de acuerdo con Davis (1965), los principales factores que afectan el rendimiento quesero son:

- a) La calidad composicional de la leche, esto es, sus tasas proteíca y butírica totales, y la tasa caseínica.
- b) El proceso de elaboración que incluye el tratamiento térmico de la leche, la coagulación, el cortado, el cocinado y secado del “grano”, el salado, y la maduración (Villegas, 1993).

### **1.5 Empleo de hidrocoloides en la industria láctea.**

El nombre de hidrocoloides engloba a sustancias naturales poliméricas solubles o dispersables en agua. Por esa razón se les puede considerar como fibras solubles. Aunque en este grupo también se incluye a los almidones y algunas proteínas, como la gelatina, generalmente el término hidrocoloide se aplica a sustancias de composición polisacárida. De forma coloquial se les denomina con el nombre de “gomas”.

Este grupo de sustancias, de origen tan diverso, tiene una gran importancia tecnológica en la industria de los alimentos debido a sus propiedades funcionales. Como característica principal y común se puede destacar que son moléculas altamente hidrofílicas que actúan sobre el agua que se encuentra libre en el medio donde se aplican, llegando a reducir su movilidad y aumentando así la viscosidad. En este sentido la estructura del polímero (lineal o ramificado, su grado de ramificación, etc.) es de gran importancia ya que de ella depende la capacidad de retención de agua (volumen de agua que pueden llegar a incorporar) y, por tanto, las características reológicas y de textura que impartirá al producto acabado (Cubero, 2002).

Está despertando gran interés en el sector industrial lácteo, la utilización de hidrocoloides como estabilizantes en la formulación de algunos productos para disminuir el grado de sinéresis, aumentar el rendimiento de la elaboración, como sustituto de la grasa en los productos desnatados o incluso para modificar las propiedades texturales. Un problema importante tanto para la calidad como para la estabilidad del queso es el fenómeno de sinéresis. La sinéresis es el proceso mediante el cual el suero es exudado por el queso fresco tras su producción, durante toda su vida útil. Este fenómeno afecta tanto al porcentaje de humedad como a la calidad del producto final (Hernando, 1999).

Según ATZI y AINIA (1999), el uso de los hidrocoloides como agentes espesantes o gelificantes se puede emplear para otros propósitos como la fijación de aromas, control de cristalizaciones, formación de complejos con las proteínas, ayudan a la suspensión de sólidos y estabilizan las emulsiones y espumas (Ruiz, 2007).

Se consideran estabilizantes de uso habitual en productos lácteos el almidón, las gomas de guar y garrofin, la goma xantana, carragenatos, alginatos, derivados de celulosa y pectina (Sanderson, 1996).

Adicionalmente son empleadas para conferir consistencia suave y al mismo tiempo un efecto incorporado en productos derivados de la leche como bebidas lácteas, yogurt o quesos; ya que actúan con las proteínas de la leche. Otra función muy importante de las gomas es conferir estabilidad a los quesos, gracias a que unen partículas de caseína, evitando la separación del suero de la masa, confiriendo al producto una estructura deseable (Maruyama, 2006).

Estos aditivos también se han usado en la formulación de quesos con bajo porcentaje de grasa, no solamente para reducir el grado de sinéresis, sino también para aumentar el rendimiento de la elaboración quesera (O'Carroll, 1996).

#### **1.5.1 Clasificación de hidrocoloides.**

Zehren (2000) señala que la gran mayoría de éstos productos se extraen especialmente de materias primas de origen vegetal (plantas, algas, etc.). Pero cabe aclarar que algunos son productos semisintéticos, pues son procesados o modificados químicamente y otros provienen de la fermentación de ciertos microorganismos. Según su origen (Cuadro 3) se distinguen las gomas de origen vegetal (esencialmente de naturaleza glucosídica) y las gomas de origen animal de naturaleza proteica (caseínatos y gelatina). Por conveniencia las gomas son clasificadas en 7 grupos:

Cuadro 3. Clasificación de las gomas.

<b>Origen</b>	<b>Tipo</b>
Extractos de algas	Alginatos Carragenina Agar-Agar
Exudados de plantas	Goma Arábica Goma Tragacanto Goma Karaya
Semillas de plantas	Goma Guar Goma Tara Goma de Algarrobo
Frutos (cáscara de limón, manzanas, etc)	Pectinas
Tubérculos	Konjac
Modificadas (semisintéticas)	Metilcelulosa Carboximetilcelulosa Hidroxipropilcelulosa (Todas derivadas de la celulosa)
Fermentación (cultivo de ciertos microorganismos)	Goma Xantana
Animal	Gelatina
❖ Cereales	Almidón

FUENTE: ZEHEREN (2000)

### 1.5.2 Aplicación y selección de hidrocoloides.

Zehren (2000) señala que la selección de gomas depende de algunos factores, tales como:

- ❖ Características de procesamiento que incluyen solubilidad, capacidad de absorción de humedad, viscosidad en caliente y el almacenamiento del producto.
- ❖ Compatibilidad con las proteínas de la leche y otros estabilizantes e ingredientes que componen la formulación.
- ❖ Propiedades organolépticas apropiadas para los productos finales, incluyendo sabor, cuerpo, textura, suavidad y apariencia.
- ❖ Estabilidad microbiológica del producto final.
- ❖ Estabilidad física del producto final.

### 1.6 Propiedades funcionales de hidrocoloides.

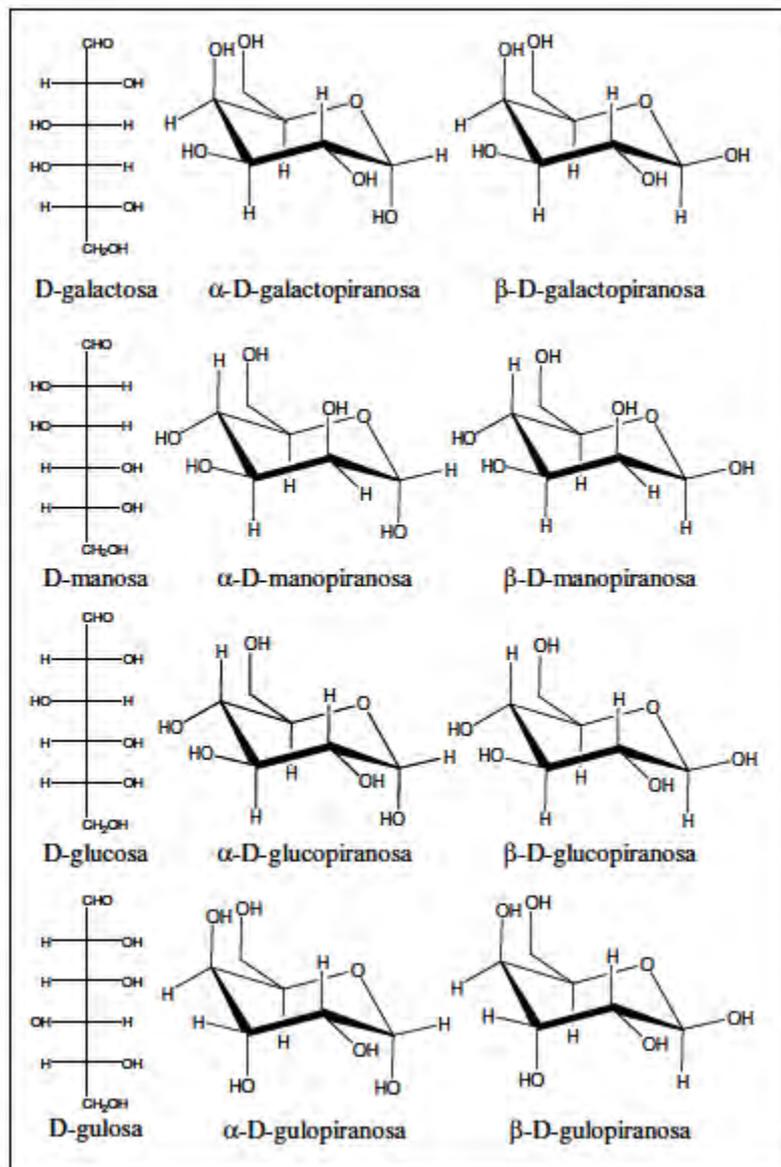
#### Polisacáridos y su gelificación

Se puede formar un gel en presencia de un monómero que polimeriza, o mediante la presencia de biopolímeros que evolucionan de un estado sol a un estado de gel por un cambio químico o térmico (Rivers, 1988).

Por otra parte, se encuentran los geles termorreversibles que se pueden formar tras cambios de temperatura sin necesidad de catalizadores. En ese caso, un biopolímero (generalmente un polisacárido), una vez que está disuelto en agua, cambia su estructura desde el estado líquido (sol) a una sustancia sólida (gel) al disminuir la temperatura por debajo de un valor crítico en el que se produce un aumento claro de viscosidad, la cual se denomina “temperatura de gelificación”,  $T_g$ . El cambio de la estructura se explica mediante la formación de puentes de hidrógeno entre las cadenas del polisacárido y el agua. Existen dos tipos de gelificantes térmicos: a) los que gelifican al enfriar (agaroides, carragenato, gelatina, gomas), y b) los que gelifican al calentar (metilcelulosas, proteínas, etc) (Braudo, 1972).

Los polisacáridos son hidratos de carbono compuestos por unidades de monosacáridos (monómeros) unidos mediante enlaces glicosídicos. Pueden estar formados por un solo tipo de azúcar o por varios diferentes. Los monómeros (monosacáridos) que se encuentran con mayor frecuencia en los polisacáridos son glucosa, galactosa, manosa e incluso, gulosa. En la Figura 4 y en la cuadro 4 se recogen los monosacáridos que se encuentran en los polisacáridos más importantes. La secuencia de los restos de monómeros puede ser totalmente aperiódica o periódica, donde los períodos contienen uno o varios restos diferentes (celulosa, amilosa), y pueden ser más o menos largos, o estar separados por intervalos no periódicos (alginatos, carragenatos, pectinas).

El tipo de monómeros, su posición y el tipo de enlace determinarán la conformación de la cadena del polisacárido, ya que el impedimento estérico (Belitz, 1997) limita el número de conformaciones diferentes que pueden presentar los polisacáridos. Por esta razón, en los polisacáridos con un solo tipo de monómero, se puede predecir la conformación en función de los tipos de enlace que se dan entre ellos, especialmente las conformaciones estirada, helicoidal, plegada, de unión laxa y mixta (Stephen, 1995) y esto afectará, en el caso de los gelificantes, a su proceso de gelificación.



**Figura 4.** Monosacáridos que se encuentran en los polisacáridos

Los polisacáridos no tienen carácter reductor, y se consideran coloides. Las moléculas de los polisacáridos pueden ser lineales perfectas, ramificadas o ramificadas lineales.

El grado de ramificación afecta a sus propiedades físicas, como son la solubilidad en agua, viscosidad y comportamiento de gelificación. Cuando los polisacáridos presentan el mismo peso molecular y concentración, la viscosidad depende del volumen efectivo (Belitz, 1997) (volumen de una esfera cuyo diámetro es igual a la longitud máxima de la molécula estirada), con lo que una disolución de molécula lineal, al presentar mayor volumen efectivo, exhibe mayor viscosidad que las disoluciones de moléculas ramificadas. Por otra parte, los polisacáridos ramificados son más solubles que los lineales perfectos, puesto que disminuyen las interacciones intercatenarias, facilitándose así la solvatación y la rehidratación después de desecarlas. Además de los polisacáridos

lineales perfectos, y los ramificados, se encuentran los ramificados lineales, que combinan las propiedades de los anteriores (alta viscosidad debido a la longitud de las cadenas, y gran solubilidad por presentar muchas ramificaciones cortas).

Cuadro 4. Composición de Polisacáridos más importantes

<i>MONOSACÁRIDO</i>	<i>UNIDADES ESTRUCTURALES</i>	<i>POLISACÁRIDO</i>	<i>TIPO</i>
Manopiranososa	Ácido β-D-Manurónico	Alginato	Gelificante químico
Gulopiranososa	Ácido α-L-Gulurónico		
Galactopiranososa-Galactopiranososa	(1→3)β-D-Galactopiranososa-(1→4)-α-3,6-anhidro-L-galactopiranososa	Agar Agarosa	Gelificante térmico
Galactopiranososa-Galactopiranososa	(1→3)β-D-Galactopiranososa-4 sulfato-(1→4)-3,6-anhidro-α-D-galactopiranososa	κ-Carragenato	Gelificante térmico
Manopiranososa-Galactopiranososa	(1→4)β-D-Manopiranososa-(1→6)-α-D-galactopiranososa	Goma de garrofín	No gelifica
Glucopiranososa-(Manopiranososa, Glucopiranososa)	(1→4) β-D-glucopiranososa-(3→1)-[β-D-Manopiranososa (1→4)-β-D-Glucopiranososa (1→2)-α-D-Manopiranososa]	Goma xantana	No gelifica

Todos los hidrocoloides interaccionan con el agua, pudiendo retener el agua a través de enlaces de hidrógeno directos, dependiendo de la temperatura y de la presión. Hasta el momento, no se ha descrito ningún modelo preciso que explique la hidratación de los polisacáridos. En la práctica, los efectos mixtos agua-polisacárido son complejos, y son todavía más complicados en presencia de otras sustancias o compuestos, como las sales.

Los polisacáridos presentan numerosos grupos hidroxilo y en algunos casos presentan, además, grupos carboxilo, acetatos, o éster sulfúrico o fosfórico, o incluso están modificados, lo cual hace que presenten distintas propiedades, como las que se describen a continuación:

(1) Los polisacáridos con grupos carboxilo (alginato, carboximetilcelulosa, etc.) son solubles en medios neutros y alcalinos. Las moléculas se encuentran estiradas por repulsión entre los iones carboxilato y, por la misma razón, no muestran interacciones intermoleculares. La viscosidad de sus disoluciones suele ser elevada, aunque depende del pH y del medio. A  $\text{pH} \leq 3$  se produce la formación de un gel o la precipitación por eliminación de la repulsión electrostática. La formación de geles a pH neutro se consigue mediante la adición de cationes divalentes.

(2) Cuando los polisacáridos presentan grupos ácidos fuertes (éster sulfúrico o fosfórico, como el carragenato, almidón fosfatado, etc.) son solubles y forman disoluciones de alta viscosidad, las cuales son estables también en medio fuertemente ácido.

(3) Los polisacáridos modificados (almidones, celulosas, etc.) presentan propiedades diferentes a sus predecesores (antes de modificar); asimismo, si se introducen grupos neutros o ácidos en polisacáridos lineales, se aumenta su solubilidad, así como la viscosidad y estabilidad (ejemplo: las propiedades de metil-, etil-, e hidroxipropilcelulosas igualan a las de la goma de algarrobo, debido a que los grupos alquilo introducidos favorecen la hidratación). El enlace de polisacáridos a través de grupos hidroximetilo es flexible debido al grado extra de libertad del enlace, siendo más estable la conformación trans.

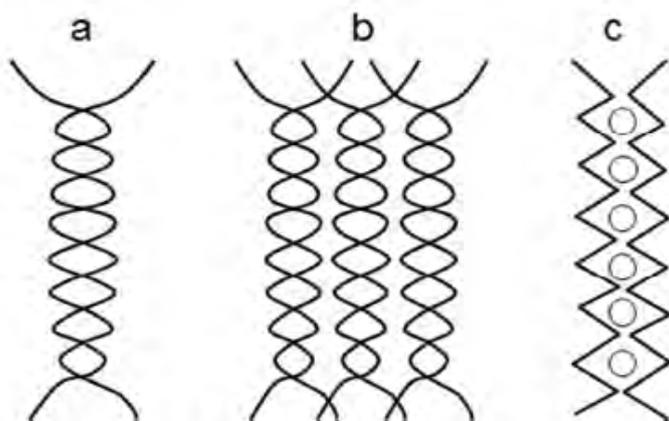
Las aplicaciones de los polisacáridos dependen de sus múltiples propiedades, como son: su solubilidad, ya que existen polisacáridos totalmente insolubles (celulosa) y otros que presentan buenas características de solubilidad e imbibición en agua (almidón), la viscosidad respecto a la concentración (algunos polisacáridos presentan baja viscosidad incluso a altas concentraciones, mientras que otros presentan siempre altas viscosidades), su capacidad o no de formar geles (algunos forman geles incluso a bajas concentraciones), y su fuerza de gel, que condiciona la resistencia del producto obtenido. Su principal aplicación es la industria alimentaria, en la que se utilizan para controlar las propiedades de los alimentos, como son la viscosidad (ya que pueden ser espesantes y/o gelificantes), la estabilización de emulsiones, y la conservación de alimentos congelados, aunque también son importantes en otras industrias, como la farmacéutica. Las funciones principales son proporcionar viscosidad y favorecer la gelificación. Según esta última propiedad, se podrían dividir los polisacáridos en dos grandes grupos: gelificantes y no gelificantes (Nieto M y Santacruz I, 2014).

A su vez, los polisacáridos gelificantes, se dividen en gelificantes térmicos y químicos.

a) Los térmicos son aquéllos que bajo ciertos cambios de temperatura, una vez disueltos, pasan del estado líquido (sol) al estado sólido (gel). A su vez, se pueden dividir en dos grupos, según gelifiquen al calentar, como los derivados de las celulosas y almidones, o al enfriar, como los derivados del agar-agar (agarosa, agar), carragenato, inulina, etc.

b) Gelificantes químicos, en los que la gelificación se produce debido a la presencia de ciertas sustancias que, por atracción electrostática, hace que se unan las cadenas de polisacárido dando lugar a una estructura tridimensional (gel).

Los geles son redes que contienen agua y que presentan comportamiento de sólido, cuyas características de resistencia a la rotura, dependencia con la concentración, y rigidez dependen de la estructura de los hidrocoloides. En general, la formación de un gel consiste en las interacciones entre cadenas. Existen diferentes formas de interacción de las secuencias regulares de las cadenas existentes entre sí (como son la doble hélice y haz de dobles hélices del carragenato, y agaroides), cintas lineales estiradas (como es la denominada “caja de huevos” del alginato), o incluso otros empaquetamientos como son las cadenas estiradas con forma de cinta que presentan las gomas, o las interacciones entre conformaciones en cinta helicoidales y estiradas resultantes de la mezcla de varios polisacáridos en disolución, (por ejemplo, mezcla de carragenato y goma de algarrobo). Las interacciones mencionadas se ilustran esquemáticamente en la Figura 5 (Belitz, 1997).



**Figura 5.** Interacciones intercatenarias entre secuencias de conformación regular: (a) doble hélice, (b) haz de dobles hélices, (c) caja de huevos.

De igual forma, existen otros polisacáridos que no gelifican (como las gomas), por lo que sus aplicaciones principales son como espesantes y estabilizantes. Sin embargo, es bien conocido que la combinación de éstos con otros polisacáridos que sí gelifican, presenta un efecto de sinergia, como es el caso de la goma de algarrobo con el agar o con el carragenato, que dan lugar a geles con mayor fuerza de gel y elasticidad.

### **Gelificación química**

Los gelificantes químicos son aquéllos que una vez disueltos forman la estructura de gel al ponerse en contacto con ciertas sustancias que provocan una polimerización química.

Los polisacáridos más conocidos por su efectividad como gelificante químico son el alginato y el chitosán (o quitosano).

**Gelificantes térmicos** (Polisacáridos que gelifican al calentar)

### **Celulosas**

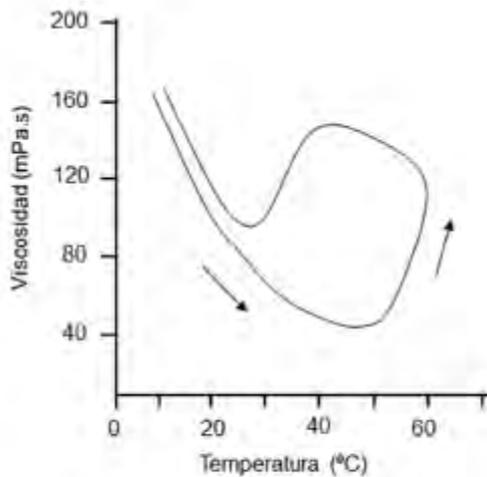
La celulosa es el biopolímero más abundante y de uso más extendido; está formado por unidades  $\beta$ - (1,4)-D-glucopiranososa en conformación  $4C_1$  con la fórmula  $(C_6H_{10}O_5)_n$  y un peso molecular promedio entre  $50 \cdot 10^3$  y  $50 \cdot 10^4$  Dalton (Stephen ,1995; Branen, 1989).

Es un material higroscópico, insoluble en agua debido a su alto peso molecular, pero puede hincharse en ese medio, siendo también insoluble en ácidos diluidos así como en la mayoría de los disolventes orgánicos.

La celulosa es la base de una serie de derivados solubles en agua y cuyas propiedades dependen del grupo característico. Los más importantes son metilcelulosa y sus derivados, que son los gelificantes térmicos. El grado de sustitución y el tipo de sustituyentes afectan tanto a la temperatura de gelificación como a la resistencia del gel. Existen otro tipo de derivados, como carboximetilcelulosa (CMC), sulfoetilcelulosa e hidroxietilcelulosa, que no tiene propiedades gelificantes.

La gelificación de la metilcelulosa y algunos de sus derivados, como la hidroxipropilmetilcelulosa está causada, principalmente, por la interacción hidrofóbica entre las moléculas que contienen una sustitución metoxil. Cuando están en disolución a bajas temperaturas, las moléculas están hidratadas y existe una baja interacción polímero-polímero. Cuando se incrementa la temperatura, las moléculas pierden el agua de hidratación y al alcanzar un grado de deshidratación suficiente, comienza una asociación polímero-polímero y el sistema evoluciona hacia una red infinita (gel), que origina un aumento brusco de la viscosidad.

Estos geles son totalmente reversibles, si bien se observa un ciclo de histéresis entre la curva de calentamiento y la de enfriamiento (Nieto M y Santacruz I, 2014). En la Figura 6 se muestra la variación de viscosidad con la temperatura de calentamiento y enfriamiento de una disolución al 2% peso de carboximetilcelulosa, en la que se aprecia el ciclo de histéresis descrito.



**Figura 6.** Variación típica de viscosidad con la temperatura de una disolución al 2% de carboximetilcelulosa.

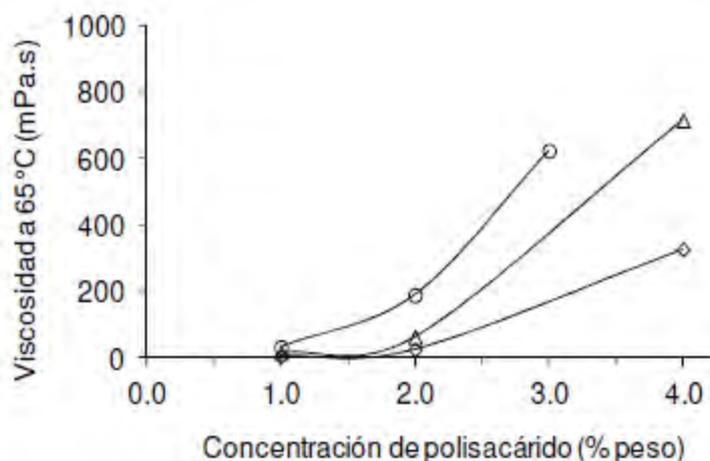
La temperatura de gelificación de la metilcelulosa varía linealmente con la concentración de las disoluciones y puede modificarse por el empleo de aditivos. Así, muchos electrolitos, como el glicerol disminuyen el punto de gel, mientras que el etanol o el propilén glicol provocan la elevación de dicho punto. Hay que destacar que la fuerza de gel fundamentalmente depende del peso molecular y aumenta con el tiempo de tratamiento de la disolución a la temperatura de gelificación.

### **Polisacáridos que gelifican al enfriar**

El interés de los agaroides (agar y su derivado más purificado, agarosa) se debe a que sus geles presentan una elevada resistencia de gel a baja concentración. Por ejemplo, los geles de agar y agarosa preparados a partir de disoluciones al 3% peso presentan una resistencia nominal de 1500 y 2500 g/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Pero los agaroides presentan un alto coste (especialmente la agarosa). Una alternativa para los agaroides es el carragenato, cuyo gel, en las mismas condiciones, también presenta una elevada fuerza de gel (800 g/cm<sup>2</sup>), si se compara con el obtenido para la gelatina (30 g/cm<sup>2</sup>).

La viscosidad de la disolución aumenta exponencialmente con la concentración para distintos polisacáridos (agar, agarosa y carragenato) (Armisen, 2000), tal y como se recoge en la Figura 7. Cuando las moléculas de las diferentes cadenas se unen entre sí, bloquean el acceso del agua y el polisacárido se hace insoluble. En este caso, se produce una reagrupación cristalina y se observa un proceso de exclusión del agua (sinéresis). Por lo tanto, se forma una red tridimensional con moléculas de agua atrapadas, dando lugar a un gel. La formación del gel es reversible, y sus propiedades de gelificación

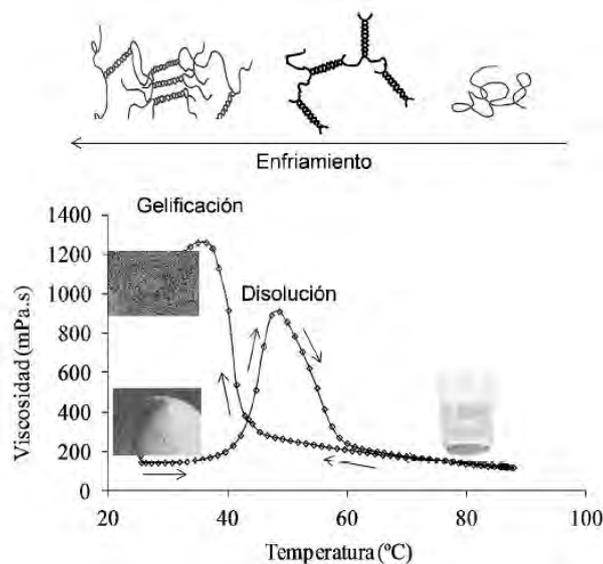
dependen del tipo de polisacárido, así como de distintos parámetros, como son la concentración, el tipo de alga utilizada, y la época del año de recolección, entre otros.



**Figura 7.** Viscosidad de las disoluciones al 2% de carragenato (o), agar (Δ) y agarosa (◊) medidas a 65°C y velocidad de cizalla de 100 s<sup>-1</sup>.

La transición sol-gel de estos polisacáridos presenta histéresis, siendo mayor la temperatura de fusión del gel que la de gelificación. La histéresis es más pronunciada para los agares (40-60°C, dependiendo del tipo de alga), teniendo o no grupos cargados, y es menor para el κ-carragenato (10-27°C), y mucho menor para el ι-carragenato (2-5°C), el cual tiene el mayor contenido en éster de sulfato.

En la Figura 8 se representa la evolución de la viscosidad de una mezcla de gránulos de agar en agua durante el proceso de disolución que tiene lugar durante el calentamiento y la gelificación que se produce al pasar por la temperatura de gelificación durante el enfriamiento. En dicha figura se representa también el mecanismo de gelificación con el enfriamiento, observándose que a alta temperatura las cadenas del polisacárido se encuentran dispersas y, al enfriar, las cadenas se van uniendo entre sí mediante puentes de hidrógeno formando dobles hélices que, a su vez, se van entrelazando al seguir disminuyendo la temperatura dando lugar a una estructura tridimensional (Armisen, 2000), en buena correspondencia con las medidas reológicas obtenidas.



**Figura 8.** Ciclo de disolución y gelificación de un agaroido y representación esquemática de la formación del gel al enfriar.

La determinación de  $T_g$  se puede realizar mediante medidas reológicas, bien a partir de las curvas viscosidad-temperatura, o a partir de medidas de oscilación, en las que la  $T_g$  viene definida por el punto de corte de las curvas del módulo de almacenamiento,  $G'$ , y del módulo de pérdida,  $G''$ , con la temperatura a frecuencia constante.

El valor así calculado está afectado por una cierta indeterminación en la medida de la primera parte de la curva, a  $T > T_g$ , así como a bajos valores de  $G'$  y  $G''$ , por lo que otros autores fijan diferentes criterios para su determinación.

Así, Labropoulos y col. (Labropoulos, 2001) calculan la  $T_g$  a partir de las curvas reológicas de oscilación con temperatura durante el enfriamiento, y toman el valor de la temperatura para el valor de  $G'$  de 100 Pa, y Mullens y col. (Mullens, 2002) determinan la  $T_g$  a partir del máximo de la primera derivada de la curva de  $G'$  con la temperatura.

Millán y col. (Millán, 2002) obtuvieron el valor de  $T_g$  a través de curvas de viscosidad con temperatura medidas a  $100 \text{ s}^{-1}$ , y calcularon su valor como el valor de temperatura a la que la viscosidad aumenta considerablemente durante la gelificación. Como elevados valores de velocidad de cizalla retrasan la formación de gel debido a la rotura de su estructura, Santacruz y col. utilizaron curvas de temperatura-oscilación y tomaron como  $T_g$  la temperatura a la que el valor de  $G'$  presenta un aumento brusco (Santacruz, 2004) la cual coincide con los experimentos de Mullens.

### **Carragenato**

El carragenato se obtiene a partir de las algas rojas (Rodofíceas) mediante extracción alcalina. Es un polisacárido lineal sulfatado, en el que se alternan grupos  $\beta$ -D-

galactopiranosas y  $\alpha$ -D-galactopiranosas (Imeson, 1997; Cottrell, 1980). Su utilización clásica se encuentra en la industria alimentaria y está admitido con el número E-407 por la Normativa de la Unión Europea EC/95/2.

Existen varias fracciones de carragenato, pero las más importantes desde el punto de vista industrial son las fracciones  $\kappa$  (kappa),  $\iota$  (iota) y  $\lambda$  (lambda). La cantidad de sulfatos aumenta desde el 24,9% para un  $\kappa$ -carragenato puro (mínimo contenido) a un 52,2% para el  $\lambda$ -carragenato (máximo contenido). Su comportamiento depende del efecto de los distintos cationes que se unen a los grupos sulfato. Las propiedades gelificantes aumentan desde la fracción  $\lambda$ , pasando por la  $\iota$ , hasta la  $\kappa$  (máximo poder gelificante), mientras que la viscosidad disminuye en ese orden. La mayor eficiencia del gel corresponde al  $\kappa$ -carragenato en presencia de iones  $K^+$  a pH neutro. El peso molecular del carragenato se encuentra comprendido entre  $20-80 \cdot 10^4$  Dalton.

La viscosidad de las disoluciones de carragenato es mayor que la correspondiente de agar o agarosa, siendo menor su histéresis de gelificación; su temperatura de gelificación depende fuertemente de la concentración del gel de carragenato, a diferencia de lo que ocurre en la agarosa (Millán AJ y Moreno, 2002).

Las disoluciones de  $\kappa$ -carragenato forman geles reversibles térmicamente en presencia de iones amonio, potasio, rubidio y cesio, mientras que, por el contrario, en presencia de sodio y litio, no los forman. De ahí se deduce que la formación del gel depende, en gran medida, del radio de los iones contrarios hidratados presentes. La construcción del gel reside en la formación parcial de dobles hélices entre diferentes cadenas. De esta forma, la firmeza del gel será mayor cuanto más regular sea la secuencia, pero los grupos sulfato de los monómeros conducen al establecimiento de un codo en la hélice y, por lo tanto, disminuyen la fuerza del gel (Nieto M y Santacruz I, 2014).

La combinación de su estudio mediante microscopía electrónica y medidas reológicas de viscoelasticidad, ha permitido establecer la evolución de la estructura del carragenato durante el proceso de gelificación, en función de la concentración de iones potasio presentes (Hermansson AM, 1989).

Así, se ha descrito un estado transitorio con una estructura “fina” formada por pares de dobles hélices en un intervalo determinado de temperatura y tiempo, durante el proceso de enfriamiento de la disolución. A elevadas concentraciones de  $K^+$  y tras un tratamiento a temperaturas inferiores a  $T_g$ , los pares de dobles hélices se agrupan en haces (en paralelo y entrecruzados), dando lugar a superestructuras que llegan a formar

las zonas de unión. Si durante el proceso se llega a una estructura mixta entre las superestructuras y la fina, el gel resultante es más fuerte.

### **Gomas**

Algunos autores describen las “gomas” como moléculas hidrófobas o hidrófilas con alto peso molecular, procedentes de plantas o microorganismos, que en un disolvente apropiado producen disoluciones muy viscosas a bajas concentraciones de polvo, pero no gelifican, por lo que parece más correcto excluirlas del grupo de polisacáridos gelificantes, ya descritos (Whistler, 1993).

De todas las gomas (algarrobo, xantana, guar, tragacanto, arábica, etc.), las más interesantes en el procesamiento de polvos son las de algarrobo y de xantana, debido a la sinergia que presenta la goma de algarrobo con el carragenato, y a su vez con la goma de xantana.

La sinergia se produce cuando, al mezclar determinadas sustancias, las propiedades de la mezcla son mejores que la unión de las propiedades de las sustancias por separado. Así, gracias a la estructura que presentan las mezclas de carragenato con goma de algarrobo, y la goma de algarrobo con la de xantana, por citar dos de los ejemplos más conocidos, se generan geles más deformables antes de secarse pero más rígidos tras su secado. A su vez, en ambos casos, los geles de las mezclas presentan una fuerza de gel muy elevada.

### **Goma de Garrofín**

La goma de garrofín es un galactomanano, que procede de la molturación de los granos de la semilla de algarrobo (*CeratoniaSiliqua*). Se utiliza en distintas industrias, como la alimentaria, en donde se emplea como estabilizante y regulador de la viscosidad, admitido con el número E-410 por la Normativa de la Unión Europea EC/95/2, y en la fabricación de papel. Presenta un peso molecular típico de  $30-35 \cdot 10^4$  Dalton. Es ligeramente soluble en agua fría, por lo que debe calentarse hasta  $85^{\circ}\text{C}$  para disolverse, formando disoluciones pseudoplásticas e insolubles en la mayoría de los líquidos orgánicos.

Es un polisacárido no iónico, con lo que no se ve afectado por la fuerza iónica del medio o el pH; sin embargo, se degrada a valores de pH extremos, a alta cizalla, o si se mantiene a altas temperaturas durante un espacio de tiempo prolongado. La presencia de ácido tánico, sales cuaternarias de amonio, acetato y otros electrolitos polivalentes hacen que la goma de garrofin precipite en la disolución acuosa. Para su perfecta

conservación, a las disoluciones se les puede añadir algún conservante, siendo el más común el ácido benzoico.

La disolución de goma de algarrobo no forma geles por sí sola, pero gelifica al añadirle aditivos tales como el bórax, que provoca el entrecruzamiento de las cadenas. Asimismo, presenta sinergia con polisacáridos gelificantes, como el agar y el carragenato, a los que proporciona un carácter elástico y mayor fuerza de gel, además de retrasar la gelificación. (Williams, 1992) demostró que no se detecta gelificación durante el enfriamiento de la goma de algarrobo, mientras que la mezcla carragenato/goma de algarrobo presenta un brusco incremento de viscosidad a 44°C. Cuando en la mezcla hay exceso de carragenato aparecen dos incrementos, el originado por la gelificación del carragenato, y el debido a la mezcla. (Ainsworth y col, 1980) observaron que el módulo elástico de una disolución de carragenato al 1% peso es menor que para una disolución con 0,5% peso de carragenato y 0,5% peso de goma de algarrobo. La relación carragenato/algarrobo que da lugar a un máximo efecto sinérgico (máxima fuerza de gel) depende de diversos factores, tales como del origen del polisacárido, y su concentración pero, fundamentalmente, es función de la concentración de iones  $K^+$  presente, y del valor de la relación manosa/galactosa(M/G) de la goma (Chen Y, 2001).

(Fernandes P, 1991) comparó mezclas de  $\kappa$ -carragenato con gomas de algarrobo obtenidas a partir de diferentes variedades de semillas de algarrobo y gomas comerciales, y observó que el valor máximo de  $G'$  es diferente según esté o no presente el ión  $K^+$ , el origen de la muestra, la relación M/G y la proporción de  $\kappa$ -carragenato/galactomanano (la cual oscila entre 75/25 y 85/15), es decir que el valor máximo de  $G'$  está en función de los elementos mencionados anteriormente, lo cual indica que en cuanto mayor sea su concentración o relación se obtendrá como resultado una máxima fuerza de gel a lo que se le atribuye un valor mayor de  $G'$ .

De igual forma, Stading M.(1993) encontró diferentes valores de la relación carragenato/goma de algarrobo, con máximos valores de  $G'$  en las medidas de oscilación, en función de la concentración de KCl presente en el medio, e incluso la sinergia desaparece cuando la concentración de KCl es elevada:  $2 \cdot 10^{-3}M$ . (Chen Y y Liao M, 2001) observaron que la relación carragenato/algarrobo que da lugar a un máximo de tensión de fractura varía con la concentración de KCl empleada.

El mecanismo de gelificación propuesto para estas mezclas sinérgicas acepta la formación de dobles hélices como resultado de la gelificación del carragenato, lo que

implica una reducción del número de contactos carragenato-agua. Estas hélices pueden agregarse a sí mismas, o asociarse con las cadenas de la goma de algarrobo, siendo preferencial el segundo caso, debido a que las moléculas de galactomanano no están cargadas. En la Figura 9 se esquematiza la estructura resultante de la sinergia entre carragenato y goma de algarrobo. Esto a su vez, conlleva un efecto directo en las propiedades reológicas de la mezcla, como se ilustra en la Figura 10, en la que se muestra la curva de flujo de una disolución al 2% de mezcla sinérgica 1:1 de carragenato y goma de algarrobo, en la figura se observa un aumento de viscosidad en la curva de subida hasta una velocidad de cizalla crítica, en la que se rompe la estructura de las cadenas de polímero y se produce un descenso de viscosidad. Por encima de ese valor crítico la curva de subida (velocidades de cizalla crecientes) coincide con la de bajada (velocidades de cizalla decrecientes) y mantiene un comportamiento fluidificante durante el resto del ciclo de bajada.



Figura 9. Sinergismo entre carragenato y goma de algarrobo

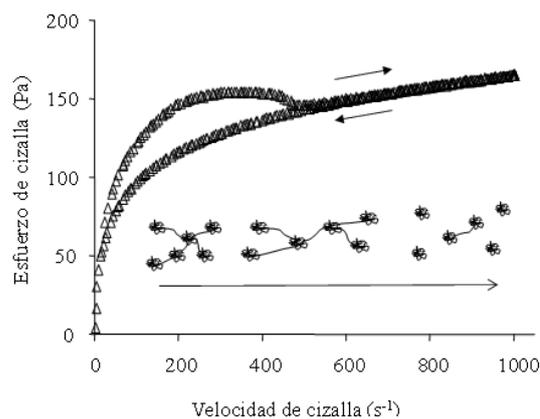


Figura 10. Curva de flujo de una mezcla 1:1 de carragenato y goma de algarrobo medida a 60°C, incluyendo una representación esquemática de la evolución de la estructura.

La goma de garrofin también presenta sinergia con la goma xantana (Whistler, 1993), con una considerable retención de la humedad en donde resulta determinante también la relación M/G (manosa/galactosa).

En estos últimos años se han estudiado mezclas de gomas con el fin de observar si las propiedades reológicas tienen un cambio aceptable, es la mezcla de almidón de arroz y la goma xantana, en donde se observó la gran influencia que tienen la temperatura en la viscosidad de la mezcla además de la concentración de la goma xantana. Sin embargo la mezcla de estas gomas no favoreció a las propiedades reológicas siendo que siempre estuvieron dominadas las propiedades por la adición de goma xantana sin tener casi efecto el almidón de arroz, esto debido a la poca compatibilidad de las mismas, lo que

indica que una mezcla de gomas no garantiza tener propiedades reológicas satisfactorias, y que debe tenerse en cuenta su compatibilidad (Kim y Yoo, 2005).

### **1.6.1 Aplicación de gomas en los alimentos.**

El uso de gomas en la industria alimentaria es muy amplio: en helados, confitería, jugos de frutas, cerveza, vinos, mayonesa, quesos, mermeladas, aderezos, embutidos, productos dietéticos, etc. En cada caso, las gomas desempeñan un papel muy característico gracias a las propiedades funcionales que desarrollan (Badui, 1999).

Según la NOM-121-SSA1-1994, se permite el empleo de las siguientes sustancias espesantes en la elaboración de los quesos (en la mezcla de la crema, sólo o mezclados con otros espesantes): acidoalginico; alginato de calcio, potasio, propilenglicol o amonio; goma de algarrobo, carragenina, grenetina; goma de karaya; carboximetil celulosa, en una cantidad máxima de 5 g/kg y goma arábica 10 g/kg además de caseinato de sodio, potasio o calcio, sólo o mezclados en una cantidad máxima de 30 g/kg.

### **1.6.2 CMC (Carboximetilcelulosa), Carragenina y Algarrobo.**

CMC (Carboximetilcelulosa): También se puede encontrar con el nombre de goma de celulosa, que es carboximetilcelulosa sódica purificada con diferentes grados de sustitución, que se basa en la sustitución de los tres grupos hidroxilos de cada una de las moléculas de glucosa de la estructura de la celulosa por grupos carboximetilos, aquí el grupo sustituyente contiene un grupo carboxílicohidrófilico que tiende a incrementar la solubilidad en agua del polisacárido.

Esta reacción se controla para seguir el grado deseado de sustitución, de polimerización y uniformidad de sustitución, para así conseguir más variedad de productos, con diferente funcionalidad y aplicación industrial, ya que la solubilidad, viscosidad y demás propiedades dependen de los tres parámetros citados:

- ❖ El grado de sustitución, más o menos grupos carboximetil en el polímero, regula la solubilidad del producto.
- ❖ El grado de polimerización (longitud de la cadena) afecta básicamente a la viscosidad final.
- ❖ La uniformidad determina las propiedades reológicas que conferirá. Cuanto más uniforme, menos tixotrópicas serán las características.

De una manera general se pueden encontrar los siguientes valores: (Cuadro 5)

Cuadro 5. Solubilidad de CMC en función del grado de sustitución

<b>Grado de sustitución</b>	<b>Solubilidad</b>
< 0,3	Soluble en álcali pero no en agua
≥ 0,45	Soluble en agua
= 0,65-0,85	El más común

Fuente: Cubero (2002).

La carboximetilcelulosa (CMC) es un ligante del agua del medio que ofrece buena funcionalidad a diferentes temperaturas ya que es soluble tanto en frío como en caliente. Si se aumenta la temperatura de una solución de CMC disminuye la viscosidad, recuperándose de nuevo al enfriar.

A pH 5-11 Es estable

A pH 7-9 Es óptimo

A pH < 5 Disminuye la viscosidad

A pH 2-3 Precipita

Es compatible con otras gomas de uso alimentario, como almidones y alginato, para minimizar la posible sinéresis.

Puede evitar la precipitación de proteínas a pH próximo al punto isoeléctrico ya que actúa como coloide protector.

Entre otras funciones se pueden encontrar las de controlador de la viscosidad, agente de suspensión y aglutinación, auxiliar para la retención de agua, inhibidor de la formación de cristales y formador de películas fuertes y resistentes (Cubero, 2002 ).

**CARRAGENINA:** Las carrageninas son gomas extraídas de una clase de alga roja llamada *Rhodophyceae*. Las algas se cosechan en muchos lugares del mundo. Los lugares de alta productividad son Filipinas, Japón, Chile y España.

Las carrageninas consisten principalmente de las sales de potasio, sodio, magnesio y calcio de polisacáridos de ésteres sulfatados que, en hidrólisis rinden galactosa y 3,6 anhidrogalactosa (Hércules, 1993).

Sus principales virtudes son:

- ❖ La facultad para formar complejos con proteínas para gelación o dispersión, suspensión o floculación, estabilización o precipitación.

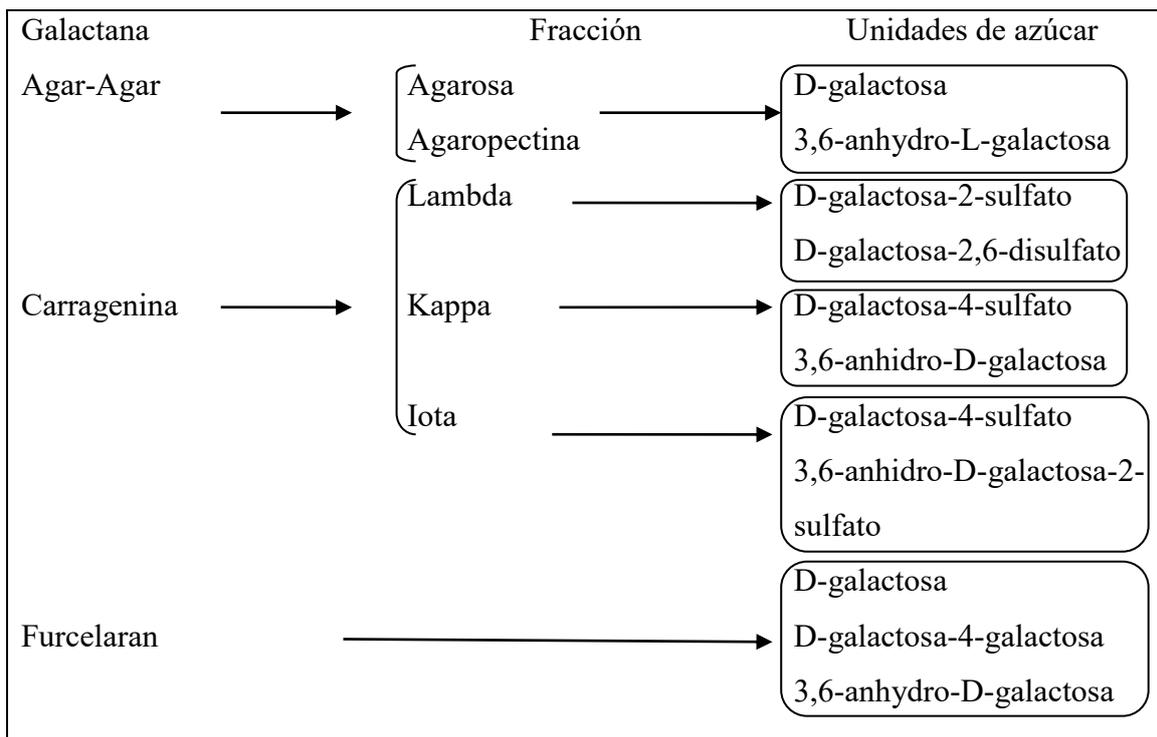
- ❖ La facultad para formar una gran variedad de geles a temperatura ambiente, claros o turbios, rígidos o elásticos, correosos o dúctiles; estables al calor o térmicamente reversibles; secos o húmedos.
- ❖ La facultad de presentar propiedades reológicas, de acuerdo con las necesidades; que espesen o suspendan, con o sin espesamiento (Hércules, 1993).

La carragenina es un polisacárido de galactana con residuos de galactosa con enlaces alternados  $\alpha$  (1-3) y  $\beta$  (1-4).

Debido a que la molécula de carragenina es muy grande, (compuesto de más de 1000 estructuras repetidas) la posibilidad de variación de estructura es enorme. Para su simplificación es conveniente definir tres tipos principales (Hércules, 1993).

Carragenina(Kappa, Iota y Lambda)

Estas son moléculas idealizadas con estructuras definidas. Muy pocas algas tienen estas estructuras solamente, la mayoría tiene una mezcla de ellas, como se muestra en el cuadro 6 .



Cuadro 6. Características estructurales comunes de las galactanas de algas Marine Colloids División.

En el cuadro 7 se muestra un resumen en forma gráfica las propiedades de las carrageninas kappa, iota y lambda, el cual nos da una mejor visión de las propiedades, condiciones de uso y efecto de cada una de estas carrageninas.

Cuadro 7. Propiedades comparativas de las carrageninas.

<b>SOLUBILIDAD</b>	<b>KAPPA</b>	<b>IOTA</b>	<b>LAMBDA</b>
Agua caliente	Soluble a más de 160 °F(71°C)	Soluble a más de 160 °F(71°C)	Soluble
Agua Fría	Soluble en sal de Na <sup>+</sup> Esponjamiento limitado a elevado de la sal K <sup>+</sup> , Ca y NH <sub>4</sub>	Soluble en sal de Na <sup>+</sup> . La sal Ca proporciona dispersiones tixotrópicas.	Soluble en todas las sales
Leche caliente	Soluble	Soluble	Soluble
Leche fría	Insoluble	Insoluble	Se dispersa con el espesamiento
Leche fría (añadiendo PFTS)	Se espesa o gelifica	Se espesa o gelifica	Espesamiento o gelificación incrementado
Soluciones concentradas de azúcar	Soluble en caliente	Difícilmente soluble	Soluble en caliente
Soluciones concentradas de sal	Insoluble en frío y Caliente	Soluble en caliente	Soluble en caliente
GELIFICACION Efecto de cationes	Gelifica con mayor fuerza con K	Gelifica con mayor fuerza con Ca	No gelifica
Tipo de gel	Frágil con sinéresis		No gelifica
Efecto de gomas de algarrobilla	Sinérgica	Ninguno	Ninguno
ESTABILIDAD pH neutro y alcalino	Estable	Estable	Estable
Acido (ph 3.5)	La hidrólisis de la solución se acelera por el calor. El estado gelificado es estable.		Hidrólisis

Fuente: Marine Colloids División 1993.

**ALGARROBO:** La goma de algarrobo se obtiene del endospermo de las semillas de la planta de *Ceratoniasiliqua*. Esta goma es un polisacárido de alto peso molecular compuesta de unidades de galactosa y manosa unida por enlaces glucosídicos. Es un polvo de coloración blanco a blanco amarillento, casi inodoro. Se puede dispersar en una solución acuosa fría o caliente; con pH entre 5.4 y 7.0, la cual forma un gel con la adición de pequeñas cantidades de borato de sodio (Glicksman, 1986).

La estructura de la goma se presenta en bloques, lo que significa que las unidades ramificadas forman bloques de aproximadamente 25 residuos (región peluda) seguida

por bloques grandes de unidades  $\beta$  (1-6)-D manopiranosas (región lisa) que le confieren mayor viscosidad. Esta región es importante en la formación de zonas de intercambio.

(figura 11)

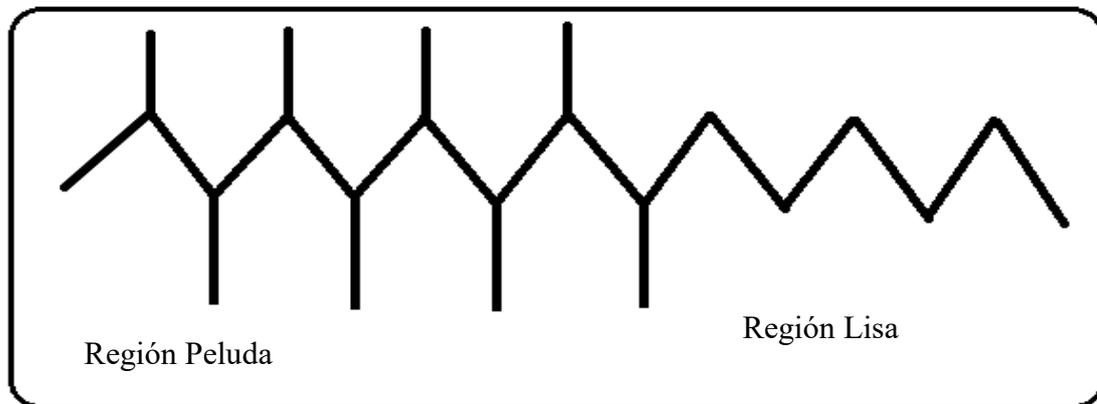


Figura 11 Diagrama de la estructura en bloques de la goma de algarrobo Fuente:Charalambous, G. 1989

La goma de algarrobo puede ser soluble en agua fría, pero se hincha, por lo que tiene que calentarse para aumentar su máxima solubilidad. Su viscosidad óptima se logra al calentar y enfriar la solución, con un color opaco, debido a la presencia de impurezas como proteína y celulosa. Con una solución al 1% puede obtenerse una viscosidad de 3000-3500 cp (Glyn, 1985).

La goma de algarrobo en la industria de alimentos se usa por la habilidad de unir e inmovilizar una cantidad de agua, de este modo contribuye a la viscosidad, inhibe la formación de cristales en helado y productos congelados, modifica la textura de los productos congelados y modifica la textura o estabiliza la consistencia del producto a cambios de temperatura.

Otros de los productos alimenticios en donde se emplea es en panadería y mezclas para panes, bebidas no alcohólicas y bases para bebidas, quesos, gelatinas, budines y rellenos, jamón, yogur, etc (Glyn, 1985).

### 1.7 Textura.

La textura es un concepto que se conoce como algo intuitivo o empírico. Su percepción depende principalmente de la deformación del alimento al aplicarle una presión y/o de determinadas propiedades estructurales estimadas por el tacto o por la vista. Sin embargo la mejor valoración de la textura se efectúa por medio de las sensaciones experimentadas en la boca, por lo que los procesos de masticación y deglución adquieren un valor muy importante (Cubero, 2002).

Una definición de textura ampliamente aceptada es que la textura define el atributo de un alimento resultante de una combinación de propiedades físicas y químicas, percibidas por los sentidos del tacto, vista y oído (Tay, 1998).

Distintos alimentos tienen consistencias y texturas diferentes. No hay dos estabilizantes, espesantes ni gelificantes exactamente iguales y, en general, cada uno será más eficaz en una aplicación concreta que otro. Por ejemplo la gelatina produce una textura elástica y suave mientras que el agar la produce más dura y frágil. La textura está estrechamente ligada a las características reológicas del alimento (Cubero, 2002).

La textura es una calidad importante de muchos productos y ha sido el objeto de muchas investigaciones. La textura del queso es un factor prominente en asignar su calidad (Demman, 1976).

Los tres componentes mayoritarios del queso son la caseína, la grasa, y el agua, los cuales contribuyen directamente en su estructura y textura; el contenido de humedad de los quesos es el factor principal que afecta el mecanismo de fractura durante la mordida y la masticación (Jack y Paterson, 1992).

Davis (1976), demostró que era posible el describir la consistencia (cuerpo) de un queso a través de un conjunto de parámetros reológicos con un sentido físico preciso: módulo de elasticidad, viscosidad, tiempo de relajación, etc. De su estudio realizado sobre diferentes quesos se puede concluir que, en general, el queso es un cuerpo viscoplastoelástico. Dicho de otra forma, cuando es sometido a una fuerza (presión de un dedo, mordedura con los incisivos, compresión mecánica y penetración con una aguja) una deformación global puede ser analizada como una combinación de deformaciones elementales que revelan la elasticidad, viscosidad y plasticidad.

Los alimentos presentan un comportamiento viscoelástico, es decir que bajo condiciones de carga durante un tiempo de aplicación, el alimento se puede comportar como un sólido, un líquido y/o más frecuentemente como una combinación de los dos (Oliveros, 1995). Rha (1979) y Wang y Chang (1970) comentan que si a un alimento se le deforma bajo una fuerza, su recuperación será siempre menor que la inicial, y su grado de recuperación dependerá del intervalo de tiempo bajo el cual el material estuvo deformado, la tasa a la cual se aplica el esfuerzo, el historial de cargas que tenga el alimento, el contenido de humedad y su composición (Osorio J y Ciro H, 2005)

Si el queso puede, en general, ser clasificado como viscoplastoelástico, es evidente que existen diferencias entre un queso y otro según la importancia relativa de los modos de deformación elemental o del tipo de fuerza aplicada. Se puede decir que cada queso, en

un instante dado de su proceso, constituye una entidad reológica y que numerosos parámetros son capaces de modificar su comportamiento (Eck, 1990). Estos parámetros texturales se pueden medir mediante una prueba de TPA. Un grupo de expertos del Centro Técnico de la Corporación de General Foods, impulsó la prueba del Análisis del Perfil de Textura (TextureProfileAnalysis ) o TPA. Consiste en el registro de los datos de fuerza contra tiempo, de una prueba de doble compresión en las cuales se someten muestras del producto a una compresión del 80 a 90% de su altura inicial, lo cual resulta casi siempre en la ruptura del alimento que simula un proceso de masticación. A partir de la curva obtenida se tienen los parámetros de textura citados por Demonte (1995).

- Dureza: Fuerza necesaria para lograr una deformación deseada.
- Cohesividad: Fuerza de interacción que tienen los enlaces internos que forman el cuerpo del producto.
- Elasticidad: Relación de recuperación de la deformación después de retirar la fuerza.
- Adhesividad: Fuerza necesaria para vencer las fuerzas de atracción que existen entre la superficie de un alimento y la superficie de otro material con el que está en contacto.
- Fracturabilidad: Fuerza necesaria para que un material se fracture.
- Masticabilidad: Energía necesaria para masticar un alimento a un estado listo para deglutirlo.
- Gomosidad: Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para deglutirlo.

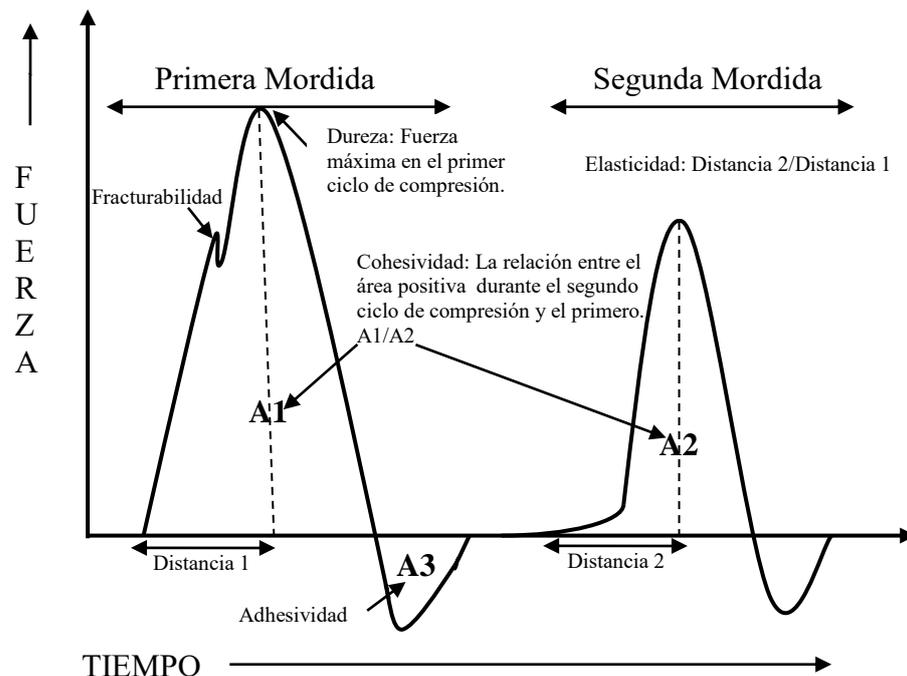


Figura 12 Curva característica de TPA ( Bourne 1982).

De la figura 12 (fuerza contra tiempo), se obtienen los parámetros texturales, para lo cual la curva se debe analizar de izquierda a derecha. El primer y segundo pico simulan la primera y segundas masticadas durante el proceso de masticación. La altura del primer pico (A1) es el máximo en fuerza desarrollada y representa la dureza de la muestra. Si el alimento es pegajoso o adhesivo, entonces la fuerza disminuye por abajo del eje, el área A3 es una medida de la adhesividad. Cuando ocurre la segunda compresión, se genera un pico A2 de menor altura que A1, esto se debe a que la estructura interna fue destruida durante la primera compresión. También el segundo pico negativo es menor que A3. La cohesividad se define como la relación de A2/A1. La gomosidad está dada por el producto de la dureza y cohesividad. La masticabilidad se obtiene multiplicando la dureza por la cohesividad y por la elasticidad. La fracturabilidad es el primer pico de la primera compresión. La elasticidad es la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre entre el primer ciclo de compresión y el segundo ( $D_2/D_1$ ). Mide cuanta estructura original del alimento se ha roto por la compresión inicial. Es adimensional, una longitud dividida por otra longitud (Hleapy Velasco, 2010).

#### Compresión.

Se utiliza frecuentemente en la evaluación de textura de quesos, principalmente porque es muy simple. El objetivo de esta prueba es determinar la firmeza del producto final, dandonos una idea del comportamiento de este frente a la masticación en la boca. En estas pruebas se utilizan cilindros de medidas conocidas. El estrés se expresa como la fuerza aplicada por unidad del área en contacto (Konstance y Holsinger, 1992).

El producto es presionado con cierta fuerza o velocidad, se pueden utilizar una gran variedad de compresores, como cilindros planos de diferentes diámetros, agujas, platos y cuñas. Dependiendo del experimento, los datos obtenidos se relacionan con el módulo (dureza) fractura de tensión, trabajo de fractura o la combinación de estos parámetros que representan la fracturabilidad que se define como la fuerza con la cual un material se fractura y se mide como la altura de la primera ruptura significativa en el primer pico que sería la distancia a la cual ocurre la fractura, ya que diferentes materiales pueden fracturarse con la misma fuerza pero a diferentes grados de compresión, de manera que entre menor distancia a la ruptura el material será más frágil, el trabajo de fractura está dado por el área bajo la curva hasta el pico de fractura. En algunas pruebas, el producto se comprime a cierta distancia, esto implica que con piezas de diferente altura, la

deformación va a ser diferente (Casas y Ramírez, 2001). Al aplicar la fuerza requerida para obtener una deformación relativa, algunos productos pueden fracturarse y otros no, haciendo que la comparación de datos sea difícil (Rosenthal, 1999).

En estudios realizados por Lee (2004) se evaluó la textura en quesos, donde se midieron las características de textura de acuerdo a la preferencia del consumidor con base en pruebas sensoriales realizadas.

Los parámetros más importantes de los quesos resultaron ser esponjosidad, dureza, adhesividad, y se les evaluó por medio de un panel.

Antoniou (2000) examinó la textura de una variedad de quesos franceses examinando sus parámetros de composición y mecánicos. Los datos se relacionaron con la evaluación de un panel donde se midieron los atributos sensoriales de los quesos. Se analizaron estadísticamente por medio de un análisis de varianza, lo que reveló que las variables más importantes para la caracterización de los quesos fueron el contenido de materia seca y la resistencia a la fuerza de compresión (10% de deformación).

## **CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.**

### **2.1 OBJETIVOS.**

#### **OBJETIVO GENERAL.**

Aumentar el rendimiento del proceso de queso fresco mediante la adición de hidrocoloides (CMC, k-carragenina y algarrobo) y sus mezclas, en la formulación, para disminuir costos de manufactura manteniendo las características finales del producto.

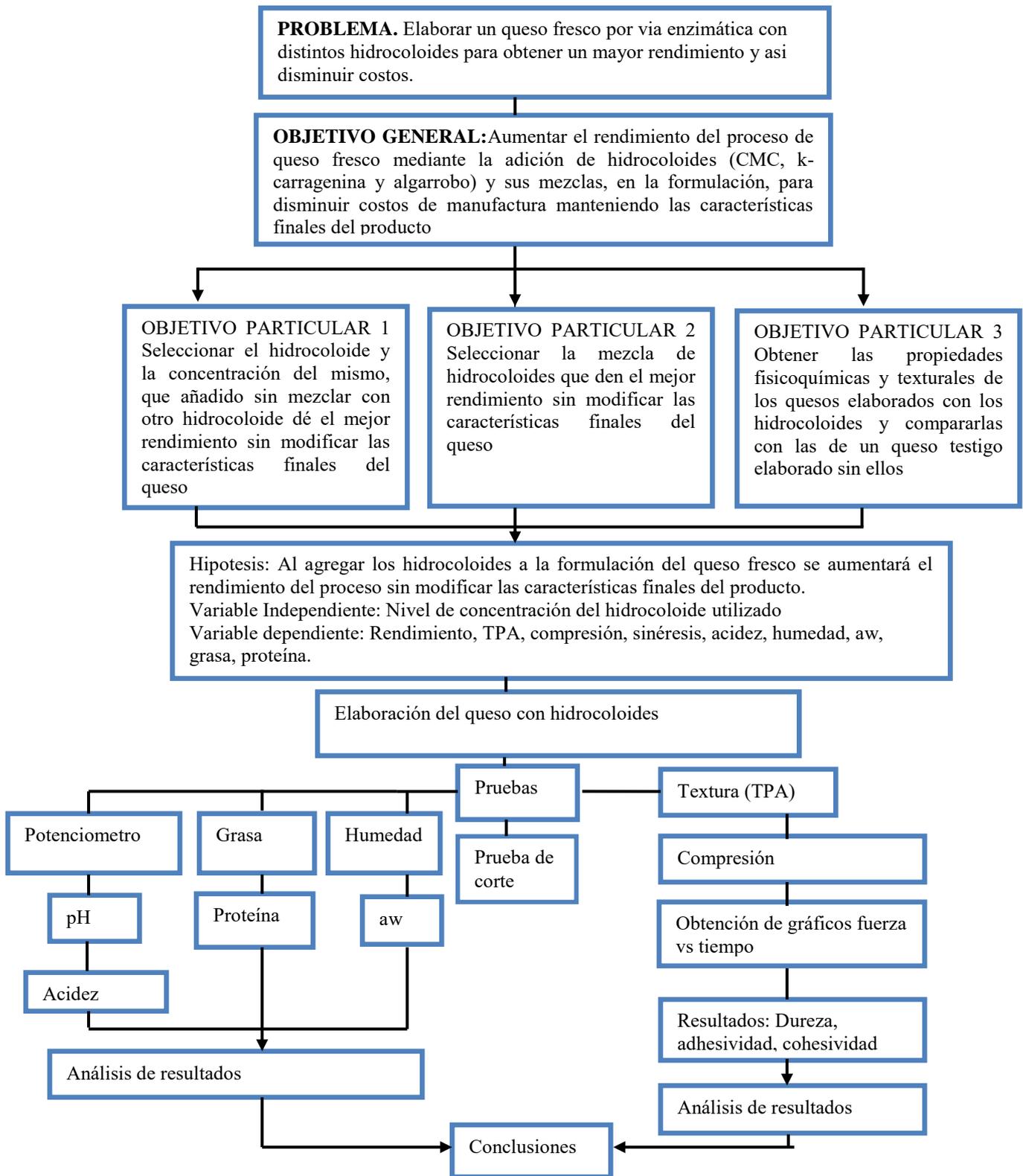
#### **OBJETIVOS PARTICULARES.**

1. Seleccionar el hidrocoloide y la concentración del mismo, que añadido sin mezclar con otro hidrocoloide dé el mejor rendimiento sin modificar las características finales del queso.
2. Seleccionar la mezcla de hidrocoloides que den el mejor rendimiento sin modificar las características finales del queso.
3. Obtener las propiedades fisicoquímicas y texturales de los quesos elaborados con los hidrocoloides y compararlas con las de un queso testigo elaborado sin ellos.

#### **HIPÓTESIS**

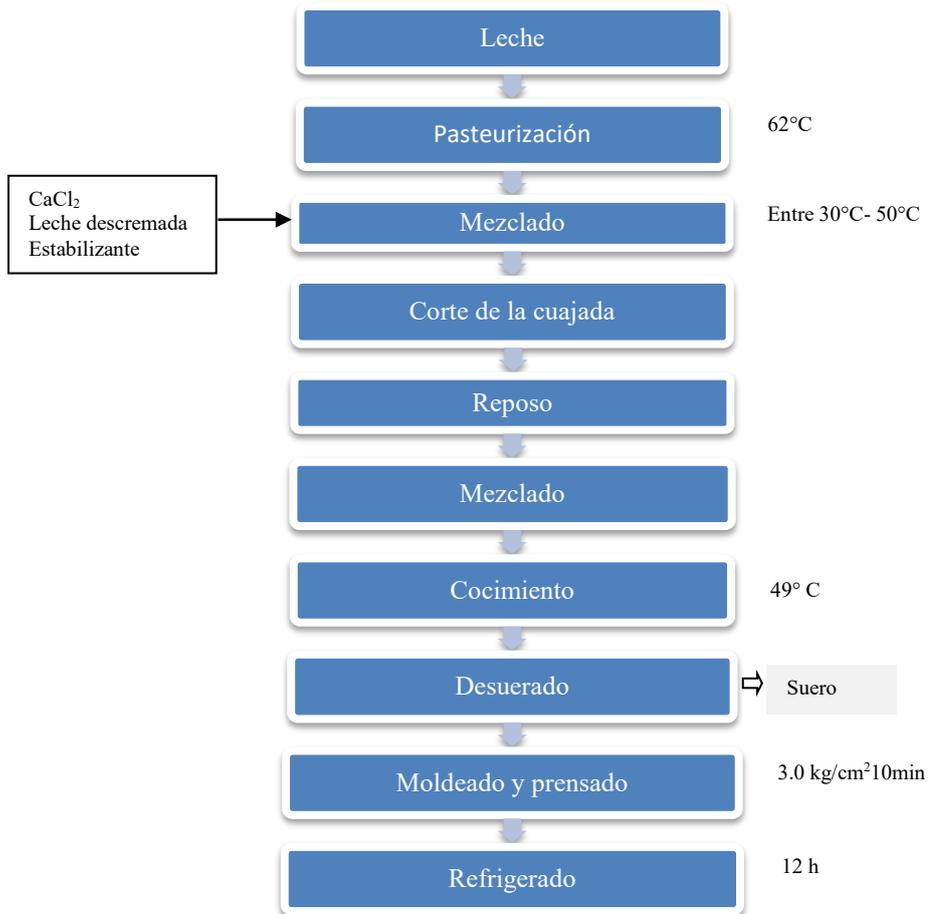
Al agregar los hidrocoloides a la formulación del queso fresco se aumentará el rendimiento del proceso sin modificar las características finales del producto.

## 2.2 CUADRO METODOLOGICO



### 2.3 Materiales y Métodos

Para la realización de este proyecto se empleó leche bronca obtenida del taller de lácteos de la FESC-UNAM. Inicialmente se estandarizó el proceso de elaboración de queso, para evitar variaciones en la experimentación, posteriormente se elaboraron los quesos de acuerdo con la Fig.13. Al siguiente día se evaluaron. Se utilizó un diseño Simplex Reticular para mezclas de 3 componentes con dos repeticiones (Fernández, et al, 2008). Además se elaboró un lote testigo, sin aditivos, para un total de 15 experimentos.



**Figura 13. Elaboración de queso fresco.**

El proceso para la elaboración del queso fresco consiste en:

1. Filtración de la leche usando tela “manta de cielo” y transvasar a una cubeta limpia.
2. Pesar la leche filtrada de acuerdo a la formulación.
3. Pesar los ingredientes a utilizar:

Leche fluida, leche descremada en polvo, estabilizante, cloruro de calcio, cuajo, sal refinada.

4. Mezclar la leche descremada en polvo y estabilizante en la leche fresca entre 30°C y 50°C utilizando el equipo Silverson, asegurarse que la mezcla no contenga grumos.
5. Preparar dilución de CaCl<sub>2</sub>, relación 1:3 V/V.
6. Preparar dilución de Cuajo (Industrias Cuamex S.A. de C.V. México), relación 1:5 V/V.
7. Añadir la dilución de CaCl<sub>2</sub>, la temperatura dentro del recipiente debe ser aproximadamente de 42°C.
8. Añadir la dilución del Cuajo agitando vigorosamente por 10-15 segundos.
9. Reposar aproximadamente 25 minutos con el recipiente cerrado.
10. Cortar suavemente con la lira vertical y luego la horizontal.
11. Reposar aproximadamente 5 minutos.
12. Agitar suavemente por alrededor de 5 minutos.
13. Cocimiento. Al iniciar el calentamiento se continúa con una agitación más vigorosa ocupando un homogenizador Silverson hasta alcanzar 49 °C aproximadamente. Mantener agitando en esa temperatura mínimo 5 minutos o hasta obtener un grano firme (no más de 10 minutos) y un tamaño regular.
14. Desuerar con manta.
15. Adicionar la sal a la pasta con el menor suero posible.
16. Moldear a un volumen similar y pre-prensa manual.
17. Prensado a las condiciones de presión y tiempo determinados según el tipo de queso. (DANISCO S.A.).
18. Refrigerar en cámara alrededor de 12 horas, entre 4°C y 8°C aproximadamente.
19. Empacar en bolsas de plástico herméticas.

Se utilizaron en total siete diferentes concentraciones de hidrocoloides en la formulación, tal como se muestra en el cuadro 8:

Cuadro 8. Concentraciones de hidrocoloides utilizadas en el queso

1	CMC 100%	Carragenina 0%	Algarrobo 0%
2	Carragenina 100%	CMC 0%	Algarrobo 0%
3	Algarrobo 100%	CMC 0%	Algarrobo 0%
4	CMC 33%	Carragenina 33%	Algarrobo 33%
5	CMC 66.7%	Carragenina 16.7%	Algarrobo 16.7%
6	Carragenina 66.7%	CMC 16.7%	Algarrobo 16.7%
7	Algarrobo 66.7%	CMC 16.7%	Algarrobo 16.7%

Las mezclas resultantes se añadieron en las cantidades correspondientes para formar el 0.05 % de concentración final en el queso, máximo permitido por la NOM- 121-SSAI-1994(SSA, 1994).Se prepararon lotes de 5 kg de queso.

Cuadro 9. Concentraciones de hidrocoloides (Simplex Reticular con dos réplicas)

	<b>CMC</b>	<b>Carragenina</b>	<b>Algarrobo</b>
<b>1</b>	<b>0.0000</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.0000</b>
<b>2</b>	<b>0.1667</b>	<b>0.6667</b>	<b>0.1667</b>
<b>3</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>1.0000</b>
<b>4</b>	<b>0.3333</b>	<b>0.3333</b>	<b>0.3333</b>
<b>5</b>	<b>0.0000</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.0000</b>
<b>6</b>	<b>0.6667</b>	<b>0.1667</b>	<b>0.1667</b>
<b>7</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
<b>8</b>	<b>0.3333</b>	<b>0.3333</b>	<b>0.3333</b>
<b>9</b>	<b>0.1667</b>	<b>0.1667</b>	<b>0.6667</b>
<b>10</b>	<b>0.6667</b>	<b>0.1667</b>	<b>0.1667</b>
<b>11</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
<b>12</b>	<b>0.1667</b>	<b>0.1667</b>	<b>0.6667</b>
<b>13</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>1.0000</b>
<b>14</b>	<b>0.1667</b>	<b>0.6667</b>	<b>0.1667</b>

Se determinó el rendimiento, contenido de humedad, proteínas y grasa; acidez, pH y TPA de los quesos. En todos los casos, las pruebas se hicieron por triplicado y se calcularon los valores promedio y la desviación estándar, para saber si existían diferencias significativas debido a las formulaciones.

Las técnicas empleadas fueron las siguientes:

**2.3.1 Determinación de pH:** Se tomaron 10 g de cada muestra, se homogeneizaron con 90g de agua destilada, se filtró y se midió el pH con un potenciómetro Conductronic por lectura directa, el pH de los quesos se determinó por inmersión directa del electrodo, utilizando el potenciómetro previamente calibrado con buffers de pH 4 y 7, dando una lectura directa en el homogenizado descrito. Método 981.12 (AOAC, 2005).

**2.3.2 Determinación de Acidez titulable:** Se tomaron 10g de cada muestra y se homogeneizaron con 90 ml de agua destilada, la mezcla se agito vigorosamente y se filtro la solución. Para determinar la acidez de la muestra, se efectuó el siguiente procedimiento: Se lleno una bureta con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N. Se tomó la lectura de la cantidad de la solución de la bureta. Se colocó en un matraz Erlenmeyer los 10 g de la muestra en forma de solución. Se adicionaron 5 gotas de fenolftaleína al 1 % como indicador. Se adiciono gota por gota la solución de hidróxido de sodio, al mismo tiempo se agitaron el Erlenmeyer con la muestra lentamente. Cuando apareció el color rosa, se siguió agitando el frasco durante 15 segundos para ver si el color permanecía. En caso necesario, se adiciono cada vez una gota extra del hidróxido de sodio (NaOH). Cuando el color permaneció por 15 segundos, se termino la titulación. Se tomo la lectura en la bureta y se calculo la cantidad de hidróxido de sodio usada para neutralizar la acidez de la muestra. La acidez se expresó como porcentaje de ácido láctico. La determinación se hizo por triplicado. Método 920.124 (AOAC, 2005).

**2.3.3 Determinación de Color:** Para cada medición se tomaron cubos de 2x2x2 cm de queso. Se utilizó un colorímetro Minolta CR 300, modo de parámetros Lab del sistema CIELAb. (Aguilera, et al, 2009).

CIE. Comisión Internacional de Iluminación y color ( Commission Internationale de l'Eclairage)

Claridad ( $L^*$ , del inglés lightness): La luminosidad de un estímulo juzgada en relación a la de otro estímulo iluminado de manera similar que parezca blanco, es decir, que es el atributo perceptual que evalúa la sensación visual “claro – oscuro” de un color. La variable claridad  $L^*$  va desde 0 (negro) hasta blanco (100).

Colorido o Croma ( $C^*$ , del inglés chroma): Atributo de una percepción visual en el que el color de cierto estímulo parece más o menos cromático, o sea, el que evalúa la sensación visual “débil – fuerte” o “pálido – intenso” de un color. La variable  $a^*$  indica la sensación rojo-verde del objeto: si  $a^* > 0$  se percibirá con parte de rojo, si  $a^* < 0$  se percibirá con parte de verde.

La variable  $b^*$  indica la sensación amarillo-azul del objeto: si  $b^* > 0$  se percibirá con parte de amarillo, si  $b^* < 0$  se percibirá con parte de azul.

Si se etiqueta con “m” al color considerado copia o muestra (tratamientos), procedente de un lote, y con “r” al color considerado de referencia o estándar (Queso testigo), y tenemos en cuenta los valores colorimétricos CIE- $L^*a^*b^*C^*$  para cada color, la diferencia visual  $\Delta E$  entre ellos se puede estimar calculando:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} = \sqrt{(L_m - L_r)^2 + (a_m - a_r)^2 + (b_m - b_r)^2}$$

Teniendo en cuenta el significado de las variables  $L^*a^*b^*C^*$ , podemos establecer las relaciones siguientes en cuanto a diferencias relativas de color:

Si  $\Delta L^* > 0$ , la muestra será más clara que el estándar, o viceversa (+ oscura) si  $\Delta L^* < 0$ ;

Si  $\Delta a^* > 0$ , la muestra será más rojiza que el estándar, o viceversa (+ verdosa) si  $\Delta a^* < 0$ ;

Si  $\Delta b^* > 0$ , la muestra será más amarillenta que el estándar, o viceversa (+ azulada) si  $\Delta b^* < 0$ ;

Si  $\Delta C^* > 0$ , la muestra será más fuerte o intensa que el estándar, o viceversa (+ débil) si  $\Delta C^* < 0$ ;

**2.3.4 Determinación de textura:** Para cada prueba se tomaron cubos de 2x2x2 cm (Casas y Ramírez, 2001) Se realizó el análisis de perfil de textura (TPA) utilizando la geometría de cilindro, de acrílico de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de diámetro y se determinó el esfuerzo de corte con una cuchilla utilizando el texturómetro TATX2 (Texture Analyser, Stable Microsystems, RU).

Realización de pruebas de textura(TPA):

1. Se mide fuerza de compresión.
2. Se le indica al instrumento que la punta, dispositivo o sensor comprima el alimento a cierta distancia (dada en mm o porcentaje con respecto a la altura de la muestra) a una velocidad dada. La prueba se inicia cuando la punta o sensor detecta la superficie de la muestra y este es el punto de referencia. En esta operación, la punta viaja hacia abajo hasta llegar a la distancia indicada.
3. La punta sube y se retira de la muestra, regresa a la posición de inicio de prueba (distancia de referencia).

4. En esta posición se espera el tiempo indicado. (5 s)
5. Se efectúa el segundo ciclo de compresión, bajando nuevamente la distancia indicada. (0.7 cm)
6. Se regresa a la posición original antes de iniciar la prueba.

Se realizó una doble compresión a 35% de deformación (0.7cm), a una velocidad de 0.17 cm por segundo con una celda de carga de 10N y un tiempo de espera de 5 segundos entre las compresiones.

En cuanto al esfuerzo de corte se realizó una sola compresión a 90% de deformación (0.18cm), a una velocidad de 0.17 cm por segundo con una celda de carga de 10N.

Durante todo el proceso, la punta detecta la fuerza y se obtiene la curva fuerza- tiempo. En el ciclo de compresión se mide la dureza y en la retirada de la sonda, las propiedades adhesivas.

**2.3.5 Determinación de Actividad de agua:** Se empleó un higrómetro de punto de rocío Aqualab. (Decagon, s/f) En las celdas de muestra se colocaron 0.5 g de queso para cada prueba.

**2.3.6 Determinación de Humedad:** Se determinó por pérdida de peso por evaporación del agua, mediante el método 926.08 (AOAC, 2000) que consiste en pesar 1-2 g de la muestra en pequeños trozos para aumentar la superficie de contacto que se colocó en un plato de metal en una estufa al vacío a 100°C, finalizado el proceso se pesó la muestra, esta prueba se hizo por triplicado.

**2.3.7 Determinación de Grasa:** Se determinó por el método GerberVangulik que se basa en la digestión parcial de los componentes del queso, excepto la grasa, en ácido sulfúrico. Emplea alcohol isoamílico para ayudar a disminuir la tensión en la interfase entre la grasa y la mezcla en reacción (ácido sulfúrico-leche), lo que facilita el ascenso de los glóbulos pequeños de grasa por centrifugación. El alcohol isoamílico reacciona con el ácido sulfúrico formando un éster que es completamente soluble en dicho ácido. Para determinar el porcentaje de grasa se efectuó el siguiente procedimiento. Se relleno con 10 ml de ácido sulfúrico densidad 1.522g/ml el butirómetro Van Gulik para quesos, a continuación se pesaron 3 gramos de queso, las muestras de queso deben pesarse en el vaso de vidrio perforado que forma parte del butirómetro Van Gulik e introducirse en el butirómetro, después el butirómetro se coloca en baño de agua a 65°C por 30 minutos y se agito cuidadosamente 2 o 3 veces durante ese lapso, para disolver todas las partículas de queso, después se agrego 1ml de alcohol isoamílico por la abertura superior y se agito, enseguida se termino de llenar el butirómetro con ácido sulfúrico, hasta que el volumen llego aproximadamente tres cuartas partes de la columna graduada, se tapo la abertura superior y se volvió a meter al baño de agua por 5 minutos, una vez realizado esto, se mezclo antes de centrifugar a 1200 r.p.m., durante 5 minutos. Se volvió a meter el butirómetro al baño de agua 10 minutos. Se hizo la lectura llevando la base de la columna de grasa exactamente al cero, por medio de presión en el tapón del butirómetro. La lectura observada en la escala indico directamente la cantidad en porciento de la grasa contenida en el queso. Método 2000.18 (AOAC, 2005).

**2.3.8 Determinación de Proteína:** Se realizó por el método MicroKjeldhal. Este método se basa en la oxidación con ácido sulfúrico de las proteínas y demás materia orgánica fijándose el nitrógeno orgánico como sulfato de amonio, esta sal se hace reaccionar con una base fuerte dando lugar al desprendimiento del amoníaco que se destila y recibe en un volumen conocido de ácido bórico, por titulación con HCl 0.1N se calcula la cantidad de amoniaco desprendido así como la cantidad de nitrógeno contenido en la muestra. Para determinar el porcentaje de proteína se efectuó el siguiente procedimiento. Se pesó un gramo de muestra y se colocó en un matraz kjeldhal, se añadieron 2 gramos de mezcla digestora y 25ml de ácido sulfúrico concentrado, se colocó el matraz en el digestor y se calentó cuidadosamente, hasta que todo el material se carbonizó y hasta que la solución este completamente clara, se dejó enfriar por 30 minutos y se enfrió a chorro de agua mientras se añadió 50ml de NaOH resbalando por las paredes. Se conectó inmediatamente el aparato de destilación para recibir el destilado en un matraz Erlenmeyer que contenía 50ml de ácido bórico al 4% y 5 gotas de indicador, se destiló hasta que paso todo el NH<sub>3</sub>(aproximadamente 75ml), se quitó el matraz y se tituló el destilado con HCl 0.1N. Posteriormente se realizaron los cálculos correspondientes. Método 2001.14. (AOAC, 2005).

$$\% \text{ de Nitrógeno} = \frac{V \times N' \times 0.014 \times 100}{P}$$

Donde:

V= Mililitros de ácido clorhídrico 0.1N usados en la titulación.

N'= Normalidad de la solución valorada de ácido clorhídrico.

P= Peso de la muestra

El % de proteínas se calculó multiplicando el % de nitrógeno por el factor 6.38 que es usado para la leche y productos lácteos.

**2.3.9 Determinación de Rendimiento:** Se realizó por medio de balance de masa, estandarizando la humedad al 55%.

$$R = \left( \frac{\text{kg de queso obtenido}}{\text{litros de leche utilizada}} \right) \times 100 \text{ (Canales y Mateo, 2000)}$$

considerando que 1 lt de leche pesa entre 1.0270-1.0320 kg de leche aproximadamente a 20° C. (Chamorro y Losada, 2002).

El cálculo de rendimiento se realizó al siguiente día, luego de retirar el queso fresco de los moldes y de ser pesados. Esto se hizo para tener un control de la cantidad de leche diaria utilizada y la cantidad de queso obtenido en kilogramos.

Con base en el peso obtenido, se determinó el rendimiento.

## CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 3.1 Determinación de pH.

En el cuadro 10 se presentan los resultados obtenidos para el pH

El número de muestra en los cuadros de los resultados obtenidos indica la concentración del hidrocólido que se utilizó. Ver Cuadro 9 pg 55 (Concentraciones de hidrocólidos)

Cuadro 10 Determinación de pH.

Muestra	pH <sub>prom</sub>	$\sigma_{\text{Desv. Estandar}}$
1	6.2	0.173
2	6.45	0.087
3	6.18	0.070
4	6.4	0.100
5	6.7	0.100
6	6.28	0.026
7	6.35	0.050
8	6.5	0.100
9	6.77	0.061
10	6.55	0.050
11	6.6	0.100
12	6.23	0.108
13	6.38	0.072
14	6.71	0.036
Testigo	6.55	0.328

Puede observarse que los valores se encuentran en el intervalo de valores reportado por otros autores, ya que los quesos de tipo cortables presentan un pH de alrededor de 5.9, Sin embargo, a pH <5.0, la consistencia del queso es dura y quebradiza. A pH >5.6, la consistencia es más elástica, como consecuencia de esto, el queso presenta un cuerpo firme, textura cerrada y al cortarlo se pueden obtener rebanadas o trozos en forma definida, los valores de pH muy altos provocan peptización de la caseína y por ende poca viscosidad, en cambio a bajo pH se produce la solidificación del producto. (Zehren y Nusbaum, 2000).

En cuanto a la adición de gomas en sus diferentes concentraciones no se observó efecto significativo sobre este parámetro lo cual coincide con lo reportado por (Brito, 2003) donde menciona que la influencia de las gomas en el pH de los quesos es casi nulo. Esto

se puede observar al comparar el pH del queso testigo con las muestras que tienen cierta concentración de hidrocoloide. pH Queso testigo=6.55, pH Queso con la adición de hidrocoloides (6.18-6.77). (Ver cuadro 10)

### 3.2 Determinación de Acidez.

Puede observarse en el Cuadro 11 que los valores se encuentran en el intervalo reportado por otros autores (Pinho et al, 2004), la acidez en el queso es otro factor que no sólo tiene incidencia sobre el sabor, sino también directamente en los cambios que experimenta la red de proteína (cuajada) del queso, teniendo ésta una correlación directa en los fenómenos de sinéresis (es decir; a mayor acidez, mayor sinéresis) y textura.

Cuadro 11. Determinación de Acidez.

Muestra	acidez <sub>prom</sub> %	σ Desv. Estandar
1	0.23	0.01
2	0.22	0.01
3	0.24	0.01
4	0.25	0.01
5	0.25	0.02
6	0.24	0.01
7	0.22	0.01
8	0.24	0.01
9	0.23	0.01
10	0.21	0.01
11	0.25	0.01
12	0.22	0.01
13	0.21	0.01
14	0.23	0.01
Testigo	0.21	0.01

**3.3 Determinación de color.** En cuanto a los parámetros de color L, a y b que se encuentran reportados en el cuadro 12 se puede observar que para la luminosidad se tienen valores altos y mayores que en el queso testigo. Las variaciones de color entre los distintos tipos de queso no dependen de las técnicas de fabricación sino que están directamente influenciados por las propiedades de la grasa del queso (Saldo, 2001).

Cuadro 12 Determinación de color.

Muestra	a	$\sigma_{\text{Desv. Estandar}}$	B	$\sigma_{\text{Desv. Estandar}}$	L	$\sigma_{\text{Desv. Estandar}}$	IC
1	-1.17	0.0608	14.89	0.601	90.14	2.393	-1.17
2	-1.43	0.0755	13.84	0.212	89.35	5.056	-1.16
3	-2.42	0.0265	15.45	0.507	86.05	0.885	-1.81
4	-1.79	0.0700	12.15	0.050	89.77	2.894	-1.63
5	-2.02	0.1311	11.9	0.200	85.04	2.075	-1.97
6	-1.43	0.0624	13.9	0.265	89.35	4.239	-1.16
7	-1.43	0.0436	13.84	0.147	87.29	5.627	-1.41
8	-2.42	0.0265	15.45	0.260	86.05	1.276	-1.81
9	-1.79	0.0346	12.15	0.312	89.77	6.175	-1.63
10	-1.71	0.0361	14.89	0.940	90.14	0.886	-1.17
11	-1.71	0.0265	14.89	0.429	90.14	1.070	-1.17
12	-2.42	0.0265	15.45	0.397	86.05	5.498	-1.81
13	-1.79	0.0755	12.15	0.805	89.35	1.969	-1.16
14	-2.02	0.4327	11.9	0.520	85.04	3.680	-1.97
Testigo	-0.03	0.0200	13.67	0.590	78.2	6.285	-0.06

En los resultados obtenidos (Ver cuadro 12) se puede observar que los quesos tratados con hidrocoloides son más claros que el que no llevó ningún tipo de hidrocoloide.

También se puede observar que los quesos tratados con hidrocoloides son más verdosos que nuestro queso testigo.

En cuanto a los parámetros de  $\Delta b$  y  $\Delta C$ , podemos observar que en general los quesos tratados con hidrocoloides tienden a ser más amarillentos y más fuertes o intensos que el queso testigo.

En cuanto a la diferencia absoluta de color  $\Delta E$  tenemos que si difieren un poco con respecto al queso testigo, esto podría deberse al uso de hidrocoloides ocupados debido a que al retener más humedad en la cuajada, es decir al disminuir la sinéresis, como puede observarse al comparar el contenido de humedad del queso testigo con respecto a los que tienen hidrocoloides (Ver cuadro 13), esto hizo que les confiriera más brillo

(Everad, 2009) cabe resaltar que los quesos principalmente resultaron ser más claros que el queso testigo en especial los quesos tratados con k-Ca y CMC.

Cuadro 13. Diferencias de color.

Muestra	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta L$	$\Delta C$	$\Delta E$
1	-1.14	1.27	11.94	1.2658	12.061
2	-1.4	0.22	11.15	0.243	11.239
3	-2.39	1.83	7.85	1.968	8.407
4	-1.76	-1.47	11.57	-1.388	11.795
5	-1.99	-1.72	6.84	-1.599	7.328
6	-1.4	0.28	11.15	0.303	11.241
7	-1.4	0.22	9.09	0.243	9.199
8	-2.39	1.83	7.85	1.968	8.407
9	-1.76	-1.47	11.57	-1.388	11.795
10	-1.68	1.27	11.94	1.317	12.124
11	-1.68	1.27	11.94	1.317	12.124
12	-2.39	1.83	7.85	1.968	8.407
13	-1.76	-1.47	11.15	-1.388	11.383
14	-1.99	-1.72	6.84	-1.599	7.328

### 3.4 Determinación de TPA (Análisis de perfil de Textura)

Como ejemplo de las gráficas obtenidas en el analizador de textura, se puede observar en la figura 14 el gráfico de TPA para el tratamiento numero 8 que corresponde a la mezcla de 33% de cada hidrocoloide, en la figura se puede observar tres distintos graficos ya que la prueba se hizo por triplicado.

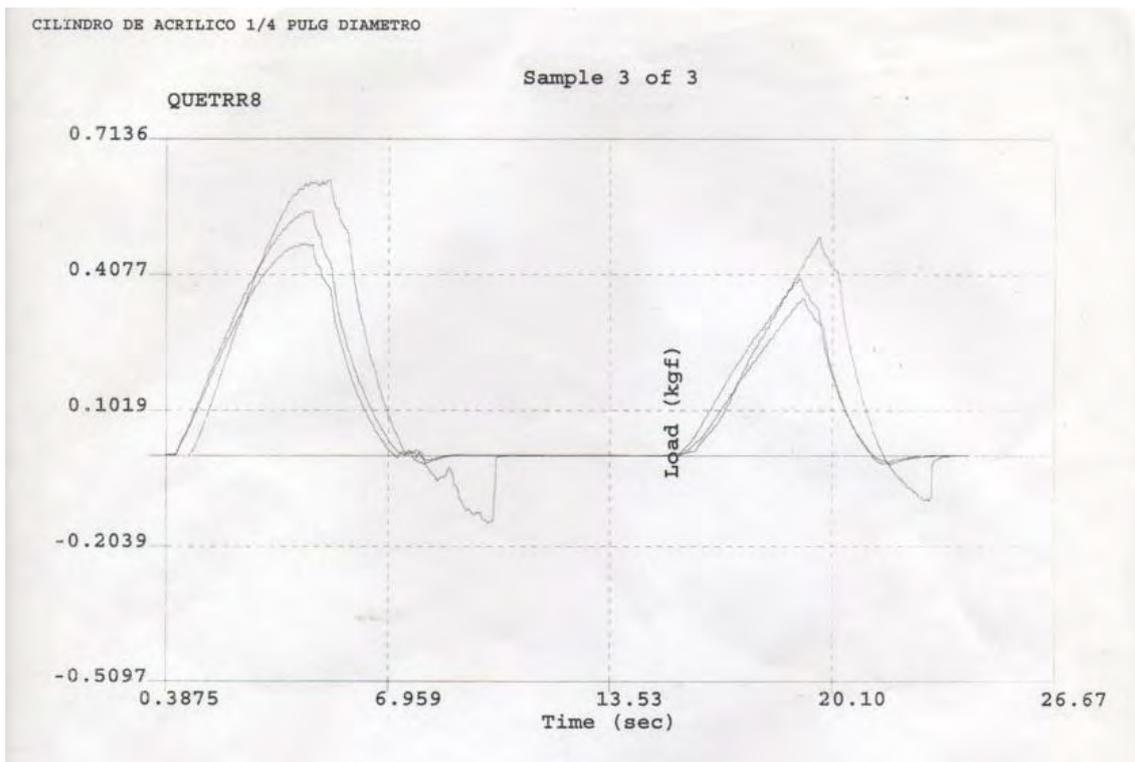


Figura 14. Gráfico de TPA para el tratamiento número 8.

En los cuadros 14a y 14 b se presentan los valores reportados por el instrumento para la corrida 8.

Cuadro 14a. Resultados obtenidos del gráfico de TPA para el tratamiento número 8

	DUREZA 1 Kgf	DUREZA 2 kgf	COHESIVIDAD	ELASTICIDAD (mm)	MASTICABILIDAD (kgf.mm)	ADHESIVIDAD (kgf.mm)
Muestra 1	0.6207	0.4892	0.6348	6.457	0.3635	0.2613
Muestra 2	0.5507	0.3929	0.5801	6.149	0.2806	0.0115
Muestra 3	0.4776	0.3489	0.565	6.457	0.2489	0.0204
Media	0.5497	0.4104	0.5933	6.354	0.2977	0.0977
Desv. Est,	0.0716	0.0718	0.0367	0.178	0.0591	0.1417

Cuadro 14b. Resultados obtenidos del gráfico de TPA para el tratamiento número 8

	AREA 1 kgf.mm	AREA 2 kgf.mm
Muestra 1	3.523	2.236
Muestra 2	3.022	1.753
Muestra 3	2.659	1.502
Media	3.068	1.831
Desv. Est.	0.434	0.373

En el cuadro 15 se presentan los valores obtenidos para todas las corridas experimentales.

Cuadro 15 Determinación de TPA(Análisis de perfil de Textura)

Muestra	Dureza1 Kgf	Dureza2 Kgf	Cohesividad	Elasticidad Mm	Masticabilidad kgf.mm	Adhesividad kgf.mm
1	0.652	0.484	0.601	6.961	0.39	0.0337
2	0.3	0.226	0.574	5.673	0.14	0.0064
3	0.43	0.32	0.502	5.11	0.23	0.0352
4	0.58	0.46	0.532	5.549	0.26	0.0372
5	0.283	0.147	0.341	5.782	0.142	0.0054
6	0.237	0.187	0.457	6.34	0.148	0.0161
7	0.25	0.196	0.628	6	0.136	0.0031
8	0.549	0.41	0.593	6.354	0.297	0.0977
9	0.331	0.239	0.599	6.18	0.175	0.0033
10	0.61	0.516	0.76	6.37	0.423	0.0314
11	0.522	0.376	0.609	6.317	0.288	0.0083
12	0.591	0.399	0.624	6.352	0.392	0.0294
13	0.216	0.168	0.588	6.508	0.119	0.0052
14	0.31	0.287	0.594	6.128	0.274	0.0071
Testigo	0.185	0.117	0.465	5.75	0.67	0.015

Se puede observar que los hidrocoloides si le confirieron textura al queso, ya que todos los valores de dureza del queso, están por encima del queso testigo, esto quiere decir que el queso resultó ser más firme que el queso sin hidrocoloides, en cuanto a la cohesividad resultó ser más cohesivo la mezcla de hidrocoloides con mayor proporción de CMC en el sentido de que los enlaces internos mantienen la integridad del queso evitando la fractura, es decir es el tratamiento con el que puede deformarse más antes de romperse como lo indican Casas y Ramírez (2001) en relación al parámetro de elasticidad observamos que el queso tratado con K-Ca tiene una mayor elasticidad ya que regreso más rápido a su condición no deformada después de remover la fuerza de de formación,también se pudo observar que el queso sin hidrocoloides resultó tener la peor masticabilidad, es decir que requiere mayor energía para masticarse para después estar listo para ser deglutido(Casas y Ramírez, 2001 ) en cuanto a la adhesividad se refiere, la mezcla de hidrocoloides en una porción igual de cada uno resultó ser la más adhesiva.

### 3.5 Determinación de Prueba de corte

En la figura 15 se muestra como ejemplo la gráfica obtenida durante la prueba de corte para el tratamiento número 8 y en el cuadro 16 los resultados de Dureza 1, Fuerza de fractura, resistencia al corte y adhesividad para la mencionada corrida 8.

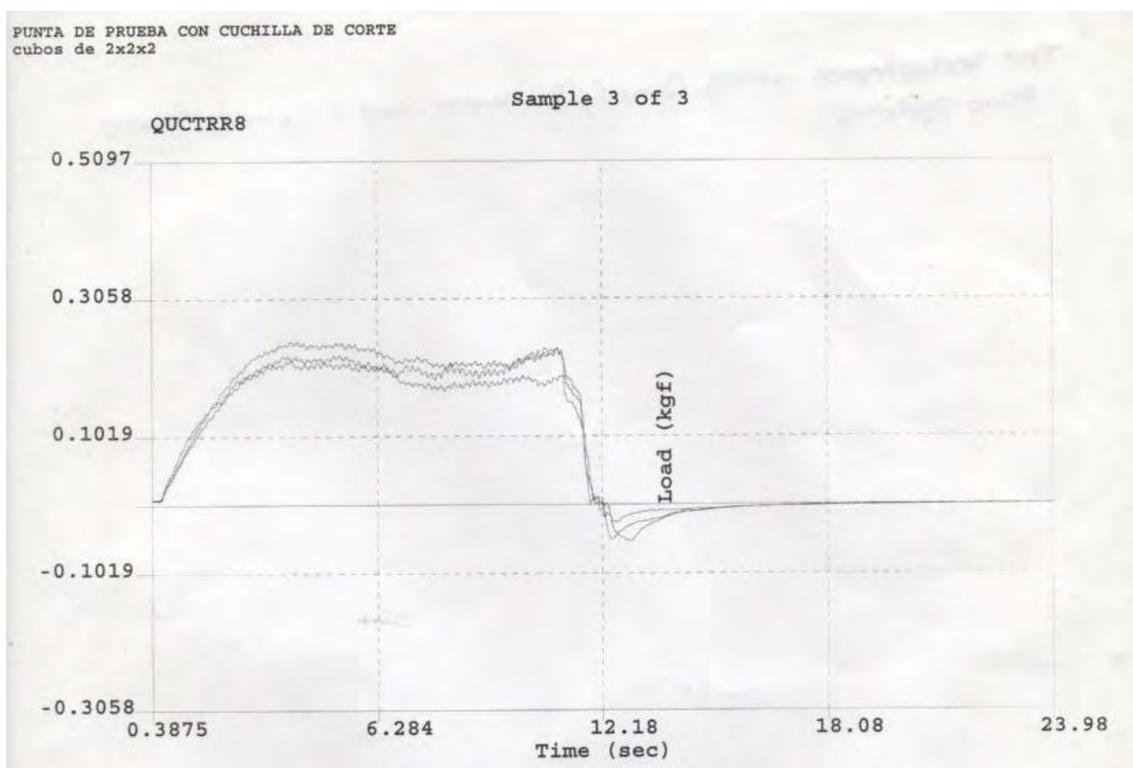


Figura 15. Gráfico de prueba de corte para el tratamiento numero 8

Cuadro 16. Resultados obtenidos del grafico de prueba de corte para el tratamiento numero 8

	DUREZA 1 Kgf	FZA DE FRACTURA (mm)	RESISTENCIA AL CORTE (kgf.mm)	ADHESIVIDAD
Muestra 1	0.2329	0.0093	0.0463	0.1277
Muestra 2	0.2427	0.0096	0.0531	0.1359
Muestra 3	0.2222	0.0089	0.048	0.0744
Media	0.2326	0.0093	0.0491	0.1127
Desv. Est	0.0102	0.0003	0.0036	0.0334

En el cuadro 17 se presentan los resultados obtenidos en la prueba de corte de todas las corridas experimentales. En el parámetro de dureza, el resultado más alto fue el de la mezcla de hidrocoloides que tenía mayor proporción de k-carragenina, también con esta mezcla resultó tener mayor adhesividad, esto puede deberse a la propiedad que tiene la k-carragenina para formar complejos con proteínas para gelación o dispersión,

suspensión o floculación, estabilización o precipitación, también la propiedad para formar una gran variedad de geles a temperatura ambiente, claros o turbios, rígidos o elásticos, correosos o dúctiles; estables al calor o térmicamente reversibles; secos o húmedos y la facultad de presentar propiedades reológicas, de acuerdo con las necesidades; que espesen o suspendan, con o sin espesamiento (Hércules, 1993), por ende hay una interacción de la carragenina con las proteínas de la leche ya que en los puntos periféricos de la micela de caseína existe una alta concentración de cargas positivas. Esta carga positiva iónica atrae los grupos sulfato de carga negativa presentes en la molécula de la carragenina, formando enlaces entre las micelas de caseína dispersas. Esta reacción, junto con la capacidad para fijar agua de la carragenina, aumenta la resistencia del gel en forma sinérgica en cerca de diez veces ( Mielko, 1997).

Cuadro 17 Determinación de Prueba de corte

Muestra	Dureza Kgf	Fza de fractura mm	Resistencia al corte Kgf mm	Adhesividad
1	0.249	0.0047	0.0532	0.1394
2	0.37	0.0052	0.0667	0.0283
3	0.122	0.0082	0.0243	0.122
4	0.233	0.0018	0.0412	0.1604
5	0.353	0.0008	0.045	0.1813
6	0.243	0.0066	0.055	0.0972
7	0.159	0.0077	0.0387	0.0741
8	0.232	0.0093	0.0491	0.1127
9	0.167	0.0058	0.041	0.0398
10	0.334	0.0082	0.069	0.1218
11	0.302	0.007	0.0611	0.1121
12	0.318	0.0074	0.0586	0.1198
13	0.134	0.0029	0.0178	0.0429
14	0.215	0.0038	0.0224	0.0932
Testigo	0.187	0.0084	0.0431	0.0685

Con los resultados obtenidos de textura y prueba de corte, se puede observar que los hidrocoloides si afectan la textura del queso respecto del queso testigo, este trabajo concuerda con otras investigaciones que la incorporación de hidrocoloides en la formulación de productos lácteos puede causar cambios en la estructura del producto, mejorando su estabilidad y sus características de textura e incluso aumentar su

rendimiento (Bennet, 2006; Gustaw, 2007), esto puede deberse al sinergismo que existió entre los hidrocoloides utilizados, sobre todo el algarrobo con la k-carragenina, ya que su unión produce geles que son similares en textura a los de gelatina y estables en almacenamiento, estos geles presentan una mayor fuerza de gel, son elásticos y retienen la forma, térmicamente reversibles y no son frágiles, acompañados por una reducción en la sinéresis.

### 3.6 Determinación de Actividad de agua Aw.

Puede observarse en el cuadro 18 que los valores de Actividad de agua se encuentran en todos los casos, en el intervalo de valores reportado por otros autores para quesos frescos (Rüegg, 1985; Marcos, 1993).

Cuadro 18. Determinación de Actividad de agua Aw

Muestra	Aw	σ Desv. Estandar
1	0.984	0.003
2	0.97	0.001
3	0.98	0.003
4	0.975	0.004
5	0.986	0.003
6	0.96	0.002
7	0.985	0.002
8	0.976	0.004
9	0.984	0.003
10	0.98	0.004
11	0.979	0.008
12	0.982	0.006
13	0.97	0.005
14	0.989	0.092
Testigo	0.972	0.004

### 3.7 Contenido de humedad.

Puede observarse en el cuadro 19 que los valores de humedad no difieren mucho entre los tratamientos y se encuentran en el intervalo de valores reportado por otros autores, este sería entre 50% y 56%, que hace que la actividad de agua sea mucho mayor, entre 0.97 y 0.99 como puede verse en el cuadro 17, estos valores elevados de aw y humedad son característicos de los quesos frescos en general y permiten el crecimiento de todas

las bacterias, mohos y levaduras asociadas con el deterioro microbiológico de estos productos (Marcos, 1993).

Cuadro 19. Contenido de humedad de los quesos elaborados.

Muestra	Humedad	$\sigma_{\text{Desv. Estandar}}$
1	52.5	2.100
2	51.7	0.755
3	52.29	1.044
4	49.7	1.910
5	55	0.866
6	48.3	1.106
7	54	0.866
8	52.6	0.624
9	55.8	0.529
10	53.16	0.728
11	53.1	0.889
12	51.6	1.106
13	54.1	1.062
14	56.6	1.138
Testigo	48.82	1.152

### 3.8 Contenido de Grasa.

Como se puede observar en el cuadro 20 el valor más alto de grasa fue el tratamiento con carragenina al 100%, después le sigue el tratamiento 14 que es la mezcla de hidrocoloides con mayor concentración de Carragenina, teniéndose en el tratamiento 11 el valor más bajo, con CMC al 100%, lo cual indica que este tipo de gomas si afectó en los resultados del contenido de grasa en el queso, esto se puede deber que al retener mayor proporción de humedad debido a la carragenina, también se retuvo más grasa, es decir hubo una relación directa entre la humedad y el contenido de grasa del queso.

Cuadro 20 Contenido de Grasa.

Muestra	Grasa%	$\sigma$ Desv. Estandar
1	22.3	0.721
2	17.7	0.265
3	17	0.265
4	8.5	0.458
5	19.7	0.300
6	18.2	0.265
7	12.8	0.361
8	11.5	0.500
9	18	0.361
10	16.8	0.608
11	9.2	0.265
12	14	0.436
13	13	0.346
14	20.3	0.755
Testigo	17.5	0.400

### 3.9 Determinación de Proteína.

En el cuadro 21 se presentan los resultados obtenidos para proteína. Se puede observar que los valores se encuentran en el intervalo de valores reportado por otros autores (Villegas, 1993), en este caso el de mayor proporción de proteínas resultó ser el de tratamiento de algarrobo al 100 %, después el de CMC con una concentración al 100% y el de Carragenina a la misma proporción, lo cual nos indica que se obtuvo un mejor resultado sin la mezcla de estos hidrocoloides.

Cuadro 21 Determinación de Proteína.

Muestra	Proteína%	$\sigma$ Desv. Estandar
1	19.45	0.482
2	19.7	1.131
3	21.48	0.417
4	20	0.694
5	21.33	0.711
6	18.42	0.580
7	22.4	0.539
8	18.7	0.676
9	18.52	0.676
10	19.2	0.695
11	21.38	0.641
12	17.54	0.450
13	22.9	1.238
14	18	0.477
Testigo	20.71	0.727

### 3.10 Determinación del Rendimiento para la formulación de queso a partir de 5 kilogramos de leche.

En el cuadro 22 se presentan los resultados del rendimiento de la formulación de 5 kg de leche.

Los valores obtenidos se encuentran en el intervalo de valores reportado por otros autores, ya que diez kilogramos de leche rinden aproximadamente un kilogramo de queso (Potter N, 1999). Cabe resaltar que el tratamiento con carragenina al 100% obtuvo mayor rendimiento que los demás tratamientos, esto puede ser debido a la alta reactividad que tiene este hidrocoloide con la leche ya que Thaidoum(2003) reporta que la k-carragenina reacciona con la k-caseína por una interacción electrostática, por lo tanto esta interacción impide la separación de fases (incluso a muy baja concentración) mediante la adsorción de las micelas de caseína dando lugar a la formación de una red de gel que conduce a la prevención de la sedimentación de las caseínas. Esto es posible incluso en el lado alcalino del punto isoelectrico de la caseína que tiene carga positiva y reacciona con los grupos sulfatos de la k-carragenina que tienen carga negativa (Mielko, 1997).

Cuadro 22 Determinación de Rendimiento (5 kg de leche)

Muestra	Rendimiento %	$\sigma$ Desv. Estandar
1	12.88	0.818
2	9.17	0.203
3	12.18	0.514
4	11.92	0.175
5	12.73	0.284
6	11.94	0.733
7	9.6	0.361
8	11.6	0.410
9	12.71	0.762
10	10.96	0.753
11	11.25	0.623
12	12.24	0.399
13	12.18	0.121
14	10	0.608
Testigo	11.86	0.252

**3.11 Gráficos de contorno y de superficie de respuesta para el Rendimiento, Proteína, Grasa, Humedad, Aw y pH.**

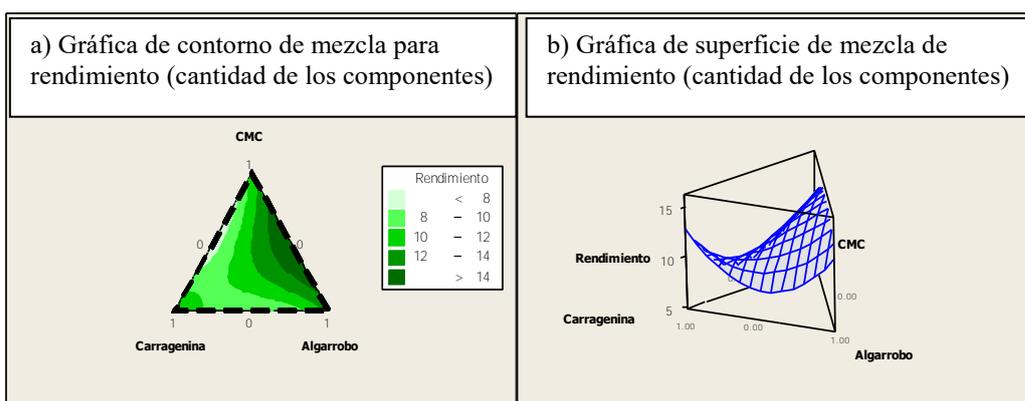


Figura 16, Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para rendimiento.

Análisis de varianza para Rendimiento (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Regresión	6	16.0087	16.0087	2.66812	7.92	0.008
Lineal	2	4.2182	6.0900	3.04502	9.04	0.011
Cuadrática	3	11.0029	11.5815	3.86050	11.46	0.004
CMC*Carragen	1	2.0667	3.9828	3.98285	11.82	0.011
CMC*Algarrob	1	6.2591	2.8976	2.89756	8.60	0.022
Carragen*Algarrob	1	2.6771	3.3320	3.33205	9.89	0.016
Cúbico especial	1	0.7876	0.7876	0.78764	2.34	0.170
CMC*Carragen*Algarrob	1	0.7876	0.7876	0.78764	2.34	0.170
Error residual	7	2.3588	2.3588	0.33697		
Total	13	18.3675				

Se puede decir que los hidrocoloides si tuvieron un efecto en el rendimiento del queso, sobre todo al emplear las mezclas binarias ya que se obtuvo un valor de  $p < 0.05$ .

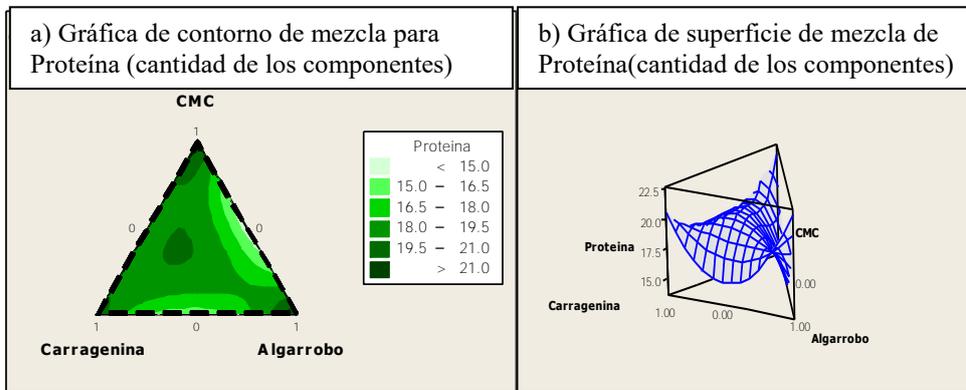


Figura 17, Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para proteína.

Análisis de varianza para Proteína (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Regresión	6	31.0560	31.0560	5.17600	5.69	0.019
Lineal	2	2.2030	3.7200	1.86000	2.04	0.200
Cuadrática	3	25.0418	12.7136	4.23786	4.66	0.043
CMC*Carragen	1	13.2095	1.2632	1.26317	1.39	0.277
CMC*Algarrob	1	10.3078	9.6721	9.67206	10.63	0.014
Carragen*Algarrob	1	1.5245	4.8302	4.83024	5.31	0.055
Cúbico especial	1	3.8112	3.8112	3.81121	4.19	0.080
CMC*Carragen*Algarrob	1	3.8112	3.8112	3.81121	4.19	0.080
Error residual	7	6.3700	6.3700	0.91000		
Total	13	37.4260				

Se observó que si se tiene interacción de los hidrocoloides con la cantidad de proteína, sobre todo con la adición conjunta de la CMC y el algarrobo ( $p < 0.05$ ).

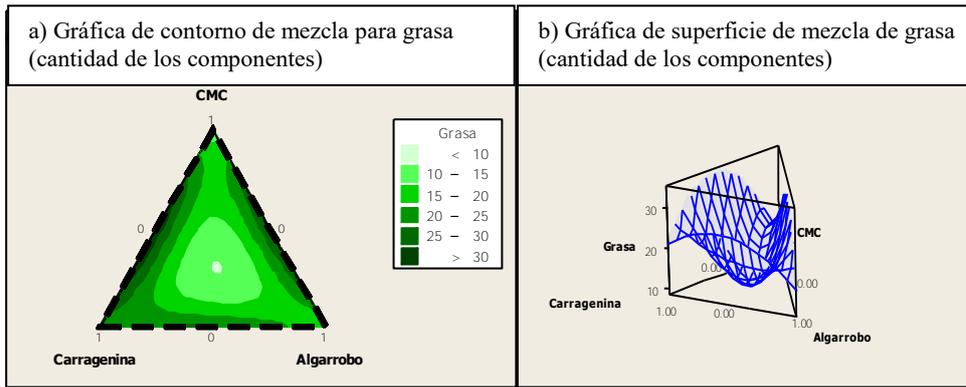


Figura 18, Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para grasa.

Análisis de varianza para Grasa (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Regresión	6	194.714	194.714	32.4524	6.54	0.013
Lineal	2	97.267	101.333	50.6667	10.22	0.008
Cuadrática	3	16.705	78.400	26.1333	5.27	0.033
CMC*Carragen	1	0.790	45.370	45.3704	9.15	0.019
CMC*Algarrob	1	0.142	45.370	45.3704	9.15	0.019
Carragen*Algarrob	1	15.773	7.259	7.2593	1.46	0.266
Cúbico especial	1	80.742	80.742	80.7424	16.28	0.005
CMC*Carragen*Algarrob	1	80.742	80.742	80.7424	16.28	0.005
Error residual	7	34.720	34.720	4.9600		
Total	13	229.434				

También se observó que hubo diferencias en la interacción de los hidrocoloides con la grasa ( $p < 0.05$ ), excepto en la mezcla de carragenina y algarrobo.

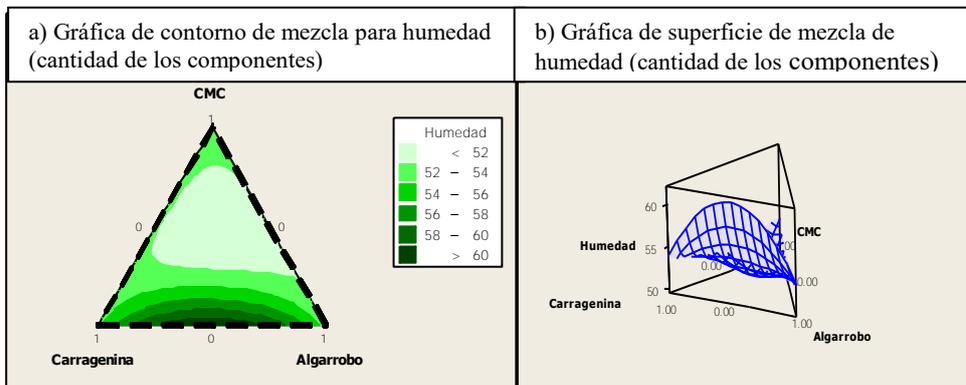


Figura 19, Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para humedad.

Análisis de varianza para Humedad (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Regresión	6	22.4102	22.4102	3.73504	0.62	0.710
Lineal	2	2.9511	0.3160	0.15802	0.03	0.974
Cuadrática	3	16.7080	12.0394	4.01315	0.67	0.598
CMC*Carragen	1	7.7925	0.2770	0.27705	0.05	0.836
CMC*Algarrob	1	1.8231	0.5264	0.52640	0.09	0.776
Carragen*Algarrob	1	7.0924	9.6601	9.66009	1.61	0.245
Cúbico especial	1	2.7511	2.7511	2.75115	0.46	0.520
CMC*Carragen*Algarrob	1	2.7511	2.7511	2.75115	0.46	0.520
Error residual	7	42.0078	42.0078	6.00112		
Total	13	64.4181				

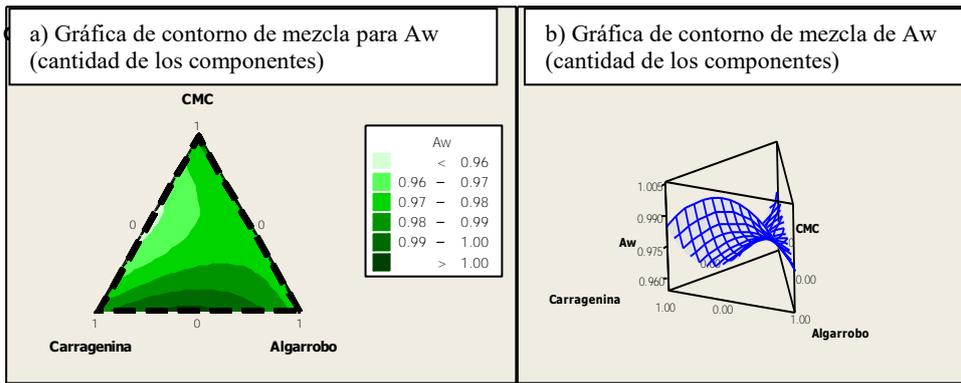


Figura 20, Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para Aw.

Análisis de varianza para Aw (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Regresión	6	0.000338	0.000338	0.000056	0.87	0.559
Lineal	2	0.000068	0.000105	0.000053	0.81	0.481
Cuadrática	3	0.000269	0.000219	0.000073	1.13	0.401
CMC*Carragen	1	0.000149	0.000106	0.000106	1.64	0.241
CMC*Algarrob	1	0.000010	0.000000	0.000000	0.00	0.954
Carragen*Algarrob	1	0.000111	0.000077	0.000077	1.18	0.312
Cúbico especial	1	0.000001	0.000001	0.000001	0.02	0.900
CMC*Carragen*Algarrob	1	0.000001	0.000001	0.000001	0.02	0.900
Error residual	7	0.000453	0.000453	0.000065		
Total	13	0.000791				

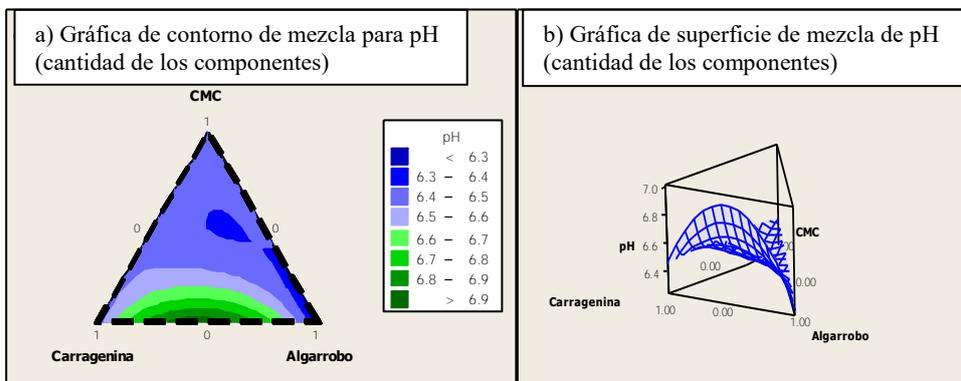


Figura 21, Gráficos de a) contorno y de b) superficie de mezcla para pH.

Análisis de varianza para pH (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Regresión	6	0.100300	0.100300	0.016717	0.29	0.921
Lineal	2	0.037687	0.045033	0.022517	0.40	0.687
Cuadrática	3	0.054649	0.050349	0.016783	0.30	0.828
CMC*Carragen	1	0.006867	0.000133	0.000133	0.00	0.963
CMC*Algarrob	1	0.001597	0.000300	0.000300	0.01	0.944
Carragen*Algarrob	1	0.046185	0.049408	0.049408	0.87	0.382
Cúbico especial	1	0.007964	0.007964	0.007964	0.14	0.719
CMC*Carragen*Algarrob	1	0.007964	0.007964	0.007964	0.14	0.719
Error residual	7	0.397300	0.397300	0.056757		
Total	13	0.497600				

Cabe destacar que no hubo diferencias significativas en los distintos tratamientos con la Humedad,  $A_w$  y pH. Sólo en el parámetro de grasa se obtuvo una diferencia significativa  $p < 0.05$ , esto se puede observar en la mezcla binaria de la CMC con la carragenina y la CMC con el algarrobo y también en la mezcla de los tres hidrocoloides.

## **CONCLUSIONES**

Al adicionar hidrocoloides se pudo observar que no afectaron significativamente el pH de los quesos.

En cuanto al parámetro de color se pudo observar que si hubo un cambio con el uso de estos hidrocoloides, estos hidrocoloides le confirieron más brillo, lo cual los hace más aceptables para el consumidor.

Al adicionar los hidrocoloides en los tratamientos, se pudo constatar que no hubo una diferencia significativa en la acidez de los quesos con respecto del queso testigo.

Con respecto al parámetro de textura se pudo constatar que si hubo una modificación de textura en los quesos, haciéndolos generalmente más firmes.

En cuanto a la cantidad de grasa y proteína de los quesos se pudo observar que si hubo una modificación, la mayoría de estos captó más grasa y proteína, lo que les confirió mayor rendimiento y un mejor color a los quesos, esto puede deberse también a la mayor humedad de los quesos.

Entonces se puede aceptar la hipótesis de que si hubo un aumento de rendimiento con el uso de hidrocoloides, teniendo los mayores rendimientos al emplear únicamente carragenina o al emplear una mezcla de cmc y algarrobo en proporciones cercanas al 50% de cada uno de ellos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aguilera, M., Alanís, M., García, C. y Hernández, C. (2009). Caracterización y Estabilidad de Antocianinas de Higo, Variedad Mission. [en línea]. Tabasco. México. Universidad y Ciencia 25 (2), 151-158. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018629792009000200005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018629792009000200005&script=sci_arttext) [2012, 15 de octubre].
2. Ainsworth PA, Blanschard JMV, J. *Texture Studies* 1980; 11 (2): 149-162.
3. Alais C. 1970. *Ciencia de la leche, Principios de Técnica Lechera*. Ed. Continental. México.
4. Alimentaria, Investigación y Tecnología y Seguridad 2011. *Investigación e Innovación, pilares de la estrategia de la industria láctea mundial*. Monográfico Lácteos. Edita: Eypasa. Ediciones y publicaciones Alimentarias, S.A. Marzo 2011: 26-71.
5. Alimentaria, Investigación y Tecnología y Seguridad 2008. *La industria Láctea apuesta por la calidad, la trazabilidad y los nuevos productos*. Monográfico Tecnología Para La Industria Láctea. Edita: Eypasa. Ediciones y publicaciones Alimentarias, S.A. Febrero 2008: 37-41.
6. Amiot J. 1991. *Ciencia y tecnología de la leche*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.
7. Antoniou, D., Petridis, S., Rraphaelides, Z., Ben , R., Kesteloot. 2000. *Texture Assessment of French Cheeses*. *Journal of Food Science*. 65(1): 168-172.
8. Association of Official Analytical Chemists. (2005). Official Methods of Analysis of AOAC International (18<sup>th</sup> ed.) Gaithersburg, Maryland: Autor.
9. Association of Official Analytical Chemists. (2000). Official Methods of Analysis of AOAC International (17<sup>th</sup> ed.) Gaithersburg, Maryland: Autor.
10. Armisen R, "Ficocoloides. Polisacáridos de algasmarinas", R. ArmisenArbos, ed., Madrid, España, 2000.
11. Badui, S, (1999). *Química de los alimentos*. Pearson Educación. Ed. Alhambra. México.
12. Bamforth, W.Ch. *Alimentos, Fermentación y Microorganismos*. University of California Davis, USA, Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España 1<sup>a</sup> Ed. 2005
13. Belitz HD, Grosch W, (Eds.), "Carbohidratos" en "Química de los alimentos", 2<sup>nd</sup> ed., Ed. Acribia S.A., 1997.

14. Bennet, R.J., Trivedi, D., Hemar, Y., Reid, D.C., Ilintworth, D., Lee, S.K. 2006. The effect of starch addition on the rheological and microstructural properties of model processed chesse. *The Australian Journal of Dairy Thecnology*, 61: 157-159.
15. Bourne, M. 1982. *Food Texture and Viscosity: conceptain measurement*. Academic Press, New York.
16. Branen AL, Dividson PM, Salminen S, "Functions of polysaccharides in foods," en "Food additives", Eds. Marcel Dekker, Inc., N.Y., EEUU, 1989.
17. Braudo EE, Muratalieva IR, Plashchina IG, Toltooguzov VB, Proc. 7 Int. Seaweed Symp. Ed.K. Nisizawa, Halsted Press, N.Y., EEUU, 1972;455.
18. BreidingerSL, Steffe JF. 2001. Texture Map of Cream Chesse. *J FoodSci* 66(3):453-456.
19. Brito, C., Silvia, S., Molina, L.H., Pinto, M., Carrillo, B. y Oyarzún, E. 2003. Queso procesado laminable reducido en grasa elaborado de chanco y quesillo. *Revista Chilena de nutrición*. 30:272-278.
20. Canales, C. J. y Mateo, O. (2000). Rendimientos queseros. Alimentaria. Revista de tecnología e higiene de los alimentos.103, 104-113.
21. Caro, I., Franco M.J., Mateo J. y Alonso, C. 1998. Influencia en la acidificación del queso tipo Oaxaca de la adición de distintas cantidades de fermentos mesófilos y termófilos a distintos tiempos de inoculación. XI Congreso Nacional de Microbiología de la SEM. Libro de ponencias, comunicaciones y posters. Pamplona, España.
22. Casas, N. y Ramírez, M. (2001). Seminario de Titulación para la carrera de Ingeniería en Alimentos Reología y Textura de Materiales Biológicos, Modulo 1: Propiedades Texturales.México: UNAM.
23. Cavalier-Salou C. y Cheftel JC. 1991. Emulsifying Salts Influence on Characteristics of Chesse Analogs from Calcium Caseinate. *Journal of Food Science* 56(6): 1542-7, 1551.
24. Černíková, M., Bunka, F., Pavlínek,V., Březina, P., Hrabě, J. y Valášek P.(2008).Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. FoodHydrocolloids 22 (6), 1054–1061.
25. Cervantes E.F., Villegas de G. A., Cesin V. A. y Espinoza O.A. (2008). *Los quesos Mexicanos Genuinos*. Ed. Mundi-Prensa. México.
26. Chamorro C., Losada M. *Tecnología de Alimentos. El análisis sensorial de losquesos*. AMV Ediciones, Mundi Prensa. 1a Edición 2002. Madrid, España.

27. Charalambous, G. 1989. Food emulsifiers: Properties and applications. Chemistry Technology, Developments in Food Science, Ed. Eiseuirs. Amstedam.T 19.pp. 349-359.
28. Chombo Morales P. 2002. Experiencia de un encuentro inesperado: la apropiación de unapropuesta tecnológica para la producción artesanal con certificación de origen y calidad deorigen del queso Cotija. Reporte XXIV coloquio COLMICH.
29. Chen Y, Liao ML, Boger DV, Dunstan DE, CarbohydratePolymers 2001; 46 (2): 117-124.
30. Cottrell IA, Kovacs P (Eds.), “Hand-book ofwater-soluble gums and resins”, Davidson RL,Ed., McGraw-Hill, N.Y., EEUU, 1980.
31. Dalgleish, D.G. 1999. The Enzymatic Coagulation of Milk. En: P.F. Fox (Ed). Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Volumen 1. Aspen Publishers, Maryland, EE.UU. pp. 69-100.
32. Davis, J.H. 1976. Cheese, Vol. III: Manufacturing Methods, Churchill Livingston.
33. Decagon Devices, Inc. (s/f). AQUALAB model CX-2. Water Activity Meter Operator’s Manual Version 3.0. [en línea]. Pullman, Washington:Autor. Disponible en: <http://www.aqualab.com/assets/Manuals/AquaLabCX-2v3.pdf> [2012, 6 de marzo].
34. Deman, J.M. 1976. Rheology and Texture in Food Quality.AVI Publishing Company. E.U.A. 64: 11-23.
35. Demonte, P.1995 Evaluación sensorial de la textura y búsqueda de correlaciones con medidas instrumentales, memorias de seminario textura y reología de alimentos, Cali,Abril 20 de 1995.
36. Dumais R, Blais J.A. y Corad, F. 1991. Queso, en Ciencia y tecnología de la leche. Editado por Amiot, J. Editorial Acribia. España.
37. Early, R. (1998). Tecnología de los productos lácteos. (2ª ed.) Zaragoza: Acribia.
38. Eck,A, 1990. El queso. Ediciones Omega. Barcelona, España.
39. Everad, C.D., O’Callagan, D.J., Mateo, M.J., Castillo, M., Payne, F.A., y O’Donell, C.P. 2009. El uso de los parámetros de color, derivado de un sensor de línea de fibra óptica para monitorear sinéresis cuajada durante la elaboración del queso, Diario de Ingeniería de Alimentos, 94(1): 1-6.
40. Farkye, N.Y. 2004. Cheese technology. International Journal of Dairy Technology.57(2-3):91- 98.
41. Fernandes PB, CarbohydratePolymers 1991; 16 (3): 253-274.

42. Fernández E., Fernández , M., Pérez I., Morón ,Y., García, V., Perdomo,I . y Pérez, N. (2008). Diseños de experimentos en tecnología y control de los medicamentos. [en línea]. México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 39 (2), 28 - 40. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57939206> [2012, 14 de abril].
43. Fox, P.F., Guinne, T.P., Timothy, M y C. y McSweeney P.L.H. 2000. *Fundamentals of Cheese Science*. Aspen Publishers, Maryland, EE.UU. pp. 392-422.
44. García-Islas, B. 2006. Caracterización fisicoquímica de diversos tipos de quesos elaborados en el Valle de Tulancingo Hgo con el fin de proponer normas de calidad. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo, Hgo. México. 98 pp.
45. García, C. E. 1987. *Análisis microbiológico de alimentos*. Publicidad Gráfica León.
46. Glicksman, M. 1986. *Gum Technology in the food industry*. Food Science and Technology. Academic press inc. Ed. Board, USA.
47. Glyn, D.J., Phillips, O. 1985. *Gums and stabilizers for the food industry 3*. Elsevier applied science, London.
48. Gunasekaran, S. y Ak, M.M. 2003. *Cheese Rheology and Texture*. CRC Press. Nueva York, EE.UU. 437 pp.
49. Gustaw, W., Mielko, S. 2007. The effect of polysaccharides and sodium chloride on physical properties of processed cheese analogs containing whey protein. *Milchwissenschaft*, 62(1): 59-62.
50. Hercules. 1993. Descripción general de carragenina. México
51. Hermansson AM, *Carbohydrate Polymers* 1989; 10 (3): 163-181.
52. Hernando, I. Pérez-Munera y A. Lluch. (1999). Influencia de la adición de hidrocoloides sobre la sinéresis del queso de burgos. *Alimentaria*, Enero-Febrero, 47-50.
53. Hleap, J. H., Velasco, V.A. 2010. Analysis of the properties of texture during the storage of sausage made from red tilapia (*Oreochromis sp.*). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Volumen 8 No.2 Julio-Diciembre 2010.
54. Imeson A (Ed.), "Thickening and gelling agents for food", 2nd ed. Blackie Academic & Professional, London, U.K., 1997.
55. Inda A.E. 2000. Optimización del rendimiento y aseguramiento de Inocuidad en la Industria de Quesería. Publicado por Jorge Granada Merchán. Organización de los Estados Americanos OEA.

56. INEGI(2014). Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática.INEGI. Boletín de información oportuna del sector alimentario. Numero 347. Octubre,2014 [En línea].Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sectorial/biosa/biosa.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sectorial/biosa/biosa.pdf). [2015, 18 Marzo].
57. Jack, F.R. y Paterson, A. 1992. Texture of Hard Cheeses. Trends in Food Science and Technology. 3: 160-163.
58. Jiménez-Guzmán, J., Flores-Nájera, A., Cruz-Guerrero, A.E. y García-Garibay, M. 2009. Use of an exopolysaccharide-producing strain of *Streptococcus thermophilus* in the manufacture of Mexican Panela cheese. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie-Food Science and Technology. 42:1508-1512.
59. Kim, C. y Yoo, B. 2005. Rheological properties of rice starch-xanthan gum mixtures. Food Technology. 75:120-127.
60. Konstance, R.P. y Holsinger, V.H. 1992. Development of Rheological Test Methods for Cheese. Food Technology. 46: 105-109.
61. Kosikowski F. (1977). Cheese and fermented milk foods. SegundaEdición. Ed. Edward Brothers. Michigan, Estado Unidos.
62. Labropoulos KC, Rangarajan S, Niesz DE,Danforth SC, J. Am. Ceram. Soc. 2001; 84 (6):1217-1224.
63. Lee, S., Anema, S y Henning K. 2004. The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads. International Journal of Food Science and Thechnology. 39(7): 763-771.
64. López O., 2005. Curso de productoslácteos. Universidad Nacional de Lujan. Lujan, República Argentina.
65. Madrid, A. 1996. Curso de industrias lácteas. Ed. Mundi-Prensa S.A. España.
66. Marcos, A. 1993. “Water Activity in Cheese in Relation to Composition,Stability and Safety”. Capítulo 11 en P. F. Fox (Editor):CHEESE: Chemistry, Physics and Microbiology. Volume1. General Aspects. 2a. Edición. Chapman & Hall, London.
67. Marín, M. B. 1999, Manual Producción de quesos en el trópico, Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Vinculación, Programa Universitario de Alimentos.
68. Marine Colloids División. 1993. General carrageenan application thecnology. México.

69. Martí, A., García, A., Molina, P. y Díaz, J.R. (2000). Relación entre el rendimiento quesero y la composición de la leche de oveja de raza manchega a lo largo de la lactación. *Producción Ovina* 25, 473-476.
70. Maruyama, L., Cardalelli, H., Buriti, F. 2006. Textura instrumental del queso Petit-Suisse potencialmente probiótico: influencia de diferentes combinaciones de gomas. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. 26(2): 386-393.
71. McSweeney, P.L.H 2004. Biochemistry of cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology*. 57(2-3):127-144.
72. Mielko, S., Li Chan y Pikus, S. 1997. Interaction of k-carrageninawhith they proteins in gels formed at different spH. *Food Research International*. 30(6): 427-433.
73. Millán AJ, Moreno R, Nieto MI, J. Eur. Ceram. Soc. 2002; 22 (13): 2209-2215.
74. Mullens S, Coymans J, De Wilde A, Beyens F, Uytterhoeven J, Luyten J, “Biogelcasting of ceramic materials,” en: *Proceedings Shaping II*, J.Luyten, J.P. Evaw, eds., VITO, Mol, Bélgica, 2002; 57-62.
75. Nieto M y Santacruz I. 2014. Consolidation of ceramics through polysaccharides gelation. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 34(1): 2-27.
76. Nuria Cubero, Albert Monferrer, Jordi Villa Alta. *Aditivos alimentarios*. A. Madrid Vicente. Ediciones Mundi-Prensa 2002.
77. O’Carroll, P. (1996). Dairy ingredient roundp, *World of Ingredients*, nov., 26-27.
78. Osorio J, Ciro H, Mejía L 2005. Rheological and textural characterization of the edam cheese. *Dyna*, Año 72, Nro. 147, pp. 33 - 45. Medellín, Noviembre de 2005
79. Paniagua, H. (2008). *Manual de elaboración de los productos lácteos en la empresa Chelmar S.A. DE C. V. en Saltillo, Coahuila. Servicio Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolas Hidalgo.*
80. Pinho O., Mendes E., Alves M.M., Ferreira M. P. 2004. Chemical, physical, and sensorial characteristics of “Terrincho” ewe cheese: Changes during ripening and intravarietal comparison. *Journal of Dairy Science*, (87): 249-257
81. Potter Norman N, 1999. *La ciencia de los alimentos*. Acribia, Editorial, S.A.
82. Rivers RD, “Method of injection molding powder metal parts”, Patente U.S. 4 113 480, 1988.
83. Rosenthal, A.J. 1999. *Food Texture-Measurement and Perception*. Aspen Publication. E.U.A Págs. 75-77, 120-121.

84. Rüegg, M. 1985. "Water in Dairy Products Related to Quality, With Special Reference to Cheese". Properties of water in foods in relation to quality and stability, 603-625.
85. Ruiz, A.(2007). Aplicación de Hidrocoloides en Queso Procesado Untable.[en línea]. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/far934a/doc/far934a.pdf> [2012, 23 de febrero].
86. SAGARPA (2011). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Perspectivas de largo plazo para el sector agropecuario de México 2011- 2020 Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios, junio de 2011 [en línea]. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Estudios/Paginas/estudios.aspx>[2012, 26 de febrero].
87. SAGARPA-CONACYT (2007). Determinación de cambios en los patrones de consumo de leche bovina y productos lácteos en el mercado nacional [en línea] México. Disponible en: <http://www.fec-chiapas.org.mx/FEC/Biblioteca/PL.pdf> [2012, 26 de febrero].
88. Saldo, J., Sendra, E. y Guanis, B. 2001. Colour changes during ripening of high pressure treated hard caprine chesse. High Pressure Research, 22: 659-663.
89. Sanderson, G.R. (1996). Gums and their use in foods systems, Food Thecnology, marzo, 81-84.
90. Santacruz I, Tesis Doctoral "Conformado demateriales cerámicos por métodos de gelificación a partir de suspensiones acuosas", Universidad Autónoma de Madrid, España, 2004.
91. Schwartz, M. E. 1973. Cheese-making Technology. Noyes Data Corporation. Nueva Jersey. USA.
92. Scott, R., Robinson , R.K. y Wilbey, R.A. 1998. Cheese varieties. En: Scott, R., Robinson , R.K. y Wilbey, R.A. (Eds). Cheesemaking Practice, Tercera edición. Kluwer Academic /Plenum Publishers, Nueva York , EE.UU. 449 pp.
93. SSA. Norma Oficial Mexicana NOM- 121-SSAI-1994, Bienes y servicios. Quesos: Frescos, madurados y procesados. Especificaciones Sanitarias. [en línea].México. Disponible en: [www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/121ssa14.html](http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/121ssa14.html)[2012, 23 de febrero].
94. Stading M, Hermansson AM, Carbohydrate Polymers 1993; 22 (1): 49-56.
95. Stephen AM (Ed.), "Food polysaccharides and their applications", Marcel Dekker, Inc. N.Y.,EEUU, 1995.

96. Tay, A. 1998. Comparación de Las Propiedades Texturales de diferentes tipos de Quesos. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Americas-Puebla. Cholula, Puebla.
97. Thaidoum, S., y Goff, H.D. 2003. Effect of k-carragenina on milk protein polysaccharide mixtures. *International Dairy Journal*. 13: 763-771.
98. USDA (2005) Dairy: World Markets and Trade [en línea]. Washington. Disponible en: <http://www.fas.usda.gov/dlp/circular/2005/05-12Dairy/cheesep.pdf> [2012, 26 de abril].
99. Varnam A, H y Sutherland J.P . 1994. Leche y productos lácteos: Tecnología, química y microbiología. Editorial Acribia. España.
100. Verdalet, G. I. El rendimiento quesero: Predeterminación en base a la composición de la leche y su aptitud quesera. *La Ciencia y el Hombre*, septiembre-diciembre 1991, no. 9, p. 63-70[en línea]. México. Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/5121/1/19918P63.pdf>[2012, 26 de febrero].
101. Villegas de Gante A. 1993. Los quesos Mexicanos. Centro de Investigaciones económicas, sociales y tecnológicas de la agroindustria y la agricultura mundial. Universidad Autónoma de Chapingo. Primera edición en español, 1993. Impreso en México.
102. Villegas de Gante A. 2004. Tecnología Quesera. Editorial Trillas. México
103. Villegas de Gante A. 2003. Los Quesos Mexicanos. Ed. CIESTAAM-UACH. México.
104. Williams PA, Clegg SM, Langdon MJ, Nichinari K, Phillips GO, “Studies on the synergistic interaction of konjacmannan and locust bean gum with kappa carrageenan”, en “Gums and stabilizers for the food industry”, G.O. Phillips, D.J. Wedlock, Eds., IRL, Oxford, U.K., 1992.
105. Whistler RL, BeMiller JN (Eds.), “Industrial gums. Polysaccharides and their derivatives”, Academic Press, Inc., California, EEUU, 1993.
106. Zehren, V. Y Nusbaum, D. 2000. Cheese Process. Cooley. Madison, Wisconsin. 364 p.