



# Universidad Nacional Autónoma de México

---

---

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE TEXTURA EN GELES  
CÁRNICOS EMPLEANDO SISTEMAS DE KAPPA-CARRAGENINA  
/ ALMIDÓN Y KAPPA-CARRAGENINA / GOMA DE MUCÍLAGO  
*OPUNTIA FICUS INDICA.*

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**QUIMICA DE ALIMENTOS**  
P R E S E N T A  
**ANA PATRICIA VILLARREAL GONZÁLEZ**



MÉXICO, D.F.

2011



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.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesor: Francisca Aída Iturbe Chiñas

**VOCAL:** Profesor: María de los Ángeles Valvidia López

**SECRETARIO:** Profesor: Luís Medina Torres

**1er. SUPLENTE:** Profesor: Francisco Javier Casillas Gómez

**2° SUPLENTE:** Profesor: Marcos Francisco Báez Fernández

Laboratorio 313, Conjunto E, Facultad de Química, Ciudad Universitaria.

## **ASESOR**

---

Dr. Luís Medina Torres

## **SUSTENTANTE**

---

Ana Patricia Villarreal González

# Agradecimientos

A mi mama Profa. Ana Lilia González Mojica y a mi papa Ing. Luís Manuel Villarreal Navarrete, por haberme dado la oportunidad de estudiar y sostener mis estudios, así como por haber contribuido en la formación de mi carácter como es hoy en día. A mis hermanas Carolina Villarreal, por generar en mi retos en la vida y Alma Margarita Villarreal que me ha enseñado que la vida debe de vivirse con alegría; a mis profesores de la Facultad de Química en especial Luís Medina y Pedro Villanueva por generar en mi el pensamiento analítico, así como a Alfonso Ruiz y Luis Menchaca que me han enseñado que la perseverancia lleva el éxito; a mis amigos de la facultad y el trabajo por la amistad y compañerismo, y por ultimo pero en especial a mi bebe Ana Paola Mendoza Villarreal por el cariño, amor y comprensión que me ofrece todos los días.

**GRACIAS**

“La reunión de dos personalidades es como el contacto de dos sustancias químicas; si hay alguna reacción, ambas se transforman”

Carl Jung

# ÍNDICE

ÍNDICE.....	4
RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
Objetivo General:.....	12
Objetivos Particulares:.....	12
1. GENERALIDADES.....	13
1.1 Productos Cárnicos.....	13
1.1.1 Gel cárnico (salchicha).....	13
1.1.2 Emulsión cárnica y gel cárnico.....	14
1.2 Hidrocoloides.....	16
1.2.1 Propiedades funcionales de los hidrocoloides.....	20
1.2.2 Espesamiento e hidratación.....	21
1.2.3 Gelificación.....	22
1.3 Carrageninas.....	23
1.3.1 Estructura química.....	24
1.3.2 Biosíntesis.....	25
1.3.3 Tipos de carrageninas.....	26
1.3.4 Propiedades.....	27
1.3.5 Gelificación.....	29
1.4 Almidón.....	30
1.4.1 Gelificación.....	32
1.5 Polisacáridos Naturales a partir de Cactáceas.....	34
1.5.1 Nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	34
1.5.2 Condiciones climáticas para la producción del Nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	38
1.5.3 Estructura Química de la goma de mucílago del nopal ( <i>Opuntia ficus Indica</i> ).....	42
1.5.4 Propiedades de la goma de mucílago de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	45
1.6 Reología en los Alimentos.....	46
1.6.1 Comportamiento reológica de los alimentos sólidos.....	48

1.6.2 Propiedades Mecánicas.....	51
1.6.3 Generalidades de Pruebas mecánicas de Textura.....	51
1.6.4 Fundamentos empleados en pruebas deTextura.....	52
1.6.5 Ensayos de resistencia a la compresión.....	54
1.6.6 Ensayos de resistencia a la fractura.....	54
1.6.7 Fuerza y deformación.....	55
1.6.8 Modulo de Young.....	56
1.6.9 Modulo de Rigidez.....	57
1.6.10 Evaluación de pruebas de Textura por diversos Métodos.....	57
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	59
2.1 Desarrollo experimental.....	59
2.2 Preparación de muestras.....	61
2.2.1Preparacion del gel cárnico con las mezclas de hidrocoloides.....	62
2.3 Pruebas de compresión uniaxial en geles cárnicos.....	65
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	69
3.1 Efecto de la concentración de sales (NaCl).....	70
3.1.1 En sistemas cárnicos con <i>kappa</i> carragenina .....	70
3.1.2 En sistemas cárnicos de <i>kappa</i> carragenina con goma de mucílago de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) .....	71
3.1.3 En sistemas cárnicos de <i>kappa</i> carragenina con almidón .....	73
3.2 Efecto de la concentración de goma de mucílago de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	74
3.3 Efecto de la concentración de almidón.....	77
3.4 Influencia de la cantidad de grasa .....	79
3.4.1 En sistemas cárnicos de <i>kappa</i> carragenina con goma de mucílago de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) .....	79
3.4.2 En sistemas cárnicos de <i>kappa</i> carragenina con almidón .....	81
3.5 Influencia de la cantidad de agua expulsada en mezclas de goma de mucílago de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	83
3.6 Influencia de la cantidad de agua expulsada en mezclas con almidón...	85
4. CONCLUSIONES.....	88
APENDICE A.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	95

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Gelificación de Carragenina (Imerson A. 1992).....	30
<b>Figura 1.2</b> Enrollamiento helicoidal de amilosa.....	31
<b>Figura 1.3</b> Estructura química de la amilopectina.....	31
<b>Figura 1.4</b> Representación esquemática de la absorción de agua por el almidón, en la que las zonas cristalinas del granulo están representadas por las líneas más intensas de que reciben el nombre de micelas. Cada almidón tiene un diferente grado de cristalización y por lo tanto se hincha y gelatiniza en distintas condiciones de temperatura.....	32
<b>Figura 1.5</b> Almidón gelatinizado con <i>kappa</i> carragenina concentración total 2% proporción 50/50.....	33
<b>Figura 1.6</b> Principales polisacáridos presentes en el mucílago de nopal.....	43
<b>Figura 1.7</b> Estructura de los polisacáridos que forman el mucílago del nopal	44
<b>Figura 1.8</b> Determinación de el modulo de Young, esfuerzo y deformación de fractura en compresiones uniaxiales (Tang et al., 1996).....	50
<b>Figura 1.9</b> Respuesta mecánica de fuerza vs deformación en pruebas de compresión con sensores cilindricos ( fuerza de fractura =h 1; cohesividad= d1; rigidez = h1/d1) (Damasio et al., 1990).....	50
<b>Figura 2.1.</b> Equipo de compresión un Texturómetro Sintech 1/s.....	65
<b>Figura 2.2</b> Respuesta mecánica de esfuerzo vs deformación en pruebas de compresión.....	66
<b>Figura 3.1</b> Respuesta mecánica de esfuerzo en función de la deformación en pruebas de compresión en geles cárnicos a una concentración de hidrocoloide del 1% y una concentración de iones de 0.5%.....	69
<b>Figura 3.2</b> Deformación de fractura en función de la fracción de kappa carragenina y goma de mucílago de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) con diferente concentración de sales y una concentración total del polisacárido del 1% (p/p).....	72
<b>Figura 3.3</b> Agua expulsada en geles mixtos de k-carragenina / goma de <i>Ofi</i> en función de la concentración de iones al 0.5% y 2% a la izquierda día cero y a la derecha 5 días de envejecimiento del gel.....	85

<b>Figura 3.4 Agua expulsada en geles mixtos de k-carragenina / almidón en función de la concentración de iones al 0.5% y 2% a la izquierda día cero y a la derecha 5 días de envejecimiento del gel.....</b>	<b>87</b>
---	-----------

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Función de los polisacáridos en productos alimenticios.....	<b>18</b>
<b>Tabla 1.2</b> Hidrocoloides naturales, propiedades y aplicaciones .....	<b>19</b>
<b>Tabla1.3</b> Consumo en el mercado de los polisacáridos de 1988-1995.....	<b>20</b>
<b>Tabla1.4</b> Propiedades de las carrageninas (Imerson A. 1992).....	<b>29</b>
<b>Tabla 1.5</b> Características de algunos almidones usados en la industria alimentaría (Badui D.S. 2009).....	<b>33</b>
<b>Tabla1.6</b> Composición química del nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	<b>36</b>
<b>Tabla 1.7</b> El valor nutritivo del nopal en 100g peso neto (SARH 2006).....	<b>37</b>
<b>Tabla 1.8</b> Aminoácidos que contiene el Nopal (SAEH 2006).....	<b>37</b>
<b>Tabla 1.9</b> Cultivo de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) en México.....	<b>39</b>
<b>Tabla 1.10</b> Precio del nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) en México.....	<b>40</b>
<b>Tabla 1.11</b> Principales azúcares del mucílago del nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> )	<b>42</b>
<b>Tabla 1.12</b> Tipos de pruebas empleadas para medir las propiedades de textura (Bourne, 1982; Costell, 1992).....	<b>58</b>
<b>Tabla 2.1</b> Proporciones de polisacáridos, en mezclas de los geles compuestos con <i>k</i> -carragenina y goma de nopal ( <i>Ofi</i> ) .....	<b>61</b>
<b>Tabla 2.2</b> Proporciones de polisacáridos, en mezclas de los geles compuestos con <i>k</i> -carragenina y almidón (17% de amilosa).....	<b>62</b>
<b>Tabla 2.3</b> Formulación del gel cárnico tipo Frankfuter.....	<b>63</b>
<b>Tabla 3.1</b> Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de <i>k</i> -carragenina al 1 % con diferentes concentraciones de iones.....	<b>70</b>
<b>Tabla 3.2</b> Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de <i>k</i> -carragenina al 2% con diferentes concentraciones de iones.....	<b>71</b>
<b>Tabla 3.3</b> Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de hidrocoloides del 1%, con diferentes proporciones de goma de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y diferente concentración de sales.....	<b>72</b>



<b>Tabla 3.4</b> Resultados de las pruebas mecánica con una concentración de hidrocoloides del 1%, con diferentes proporciones de almidón (con el 17% amilasa) y diferente concentración de sales.....	73
<b>Tabla 3.5</b> Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de hidrocoloides del 2%, con diferentes proporciones de goma de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y diferente concentración de sales.....	74
<b>Tabla 3.6</b> Resultados de las pruebas mecánica con una concentración de hidrocoloides del 2%, con diferentes proporciones de almidón (con el 17% amilasa) y diferente concentración de sales.....	78
<b>Tabla 3.7</b> Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de hidrocoloides del 1%, con diferentes proporciones de goma de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y una concentración de 0.5%.....	80
<b>Tabla 3.8</b> Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de hidrocoloides del 1%, con diferentes proporciones de goma de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y una concentración de 2%.....	81
<b>Tabla 3.9</b> Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de hidrocoloides del 1%, con diferentes proporciones de almidón y una concentración de 0.5%.....	82
<b>Tabla 3.10</b> Resultados de cantidad de agua expulsada por los geles cárnicos a cero días y cinco días de envejecimiento del gel, a una concentración del 1% de polisacáridos y diferente concentración de sales.....	84
<b>Tabla 3.11</b> Resultados de cantidad de agua expulsada por los geles cárnicos a cero días y cinco días de envejecimiento del gel, a una concentración del 1% de polisacáridos y diferente concentración de sales.....	86

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

<b>Diagrama 2.1</b> Extracción del mucílago del nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	60
<b>Diagrama 2.2</b> Proceso de elaboración de gel cárnico y su análisis en pruebas de textura.....	64

# RESUMEN

La industria de productos cárnicos dispone de una serie de aditivos alimentarios que se pueden incorporar a la formulación para impartir propiedades de textura a los embutidos. Por lo que, es de gran interés estudiar la respuesta mecánica de la goma de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en este tipo de sistemas cárnicos.

En el presente trabajo se estudian las propiedades mecánicas (rigidez, elasticidad y punto de fractura) en embutidos (salchicha) con diferentes mezclas de aditivos alimentarios (*kappa* carragenina, goma de mucílago de nopal y almidón). Se midieron pruebas de resistencia a la penetración en embutidos mediante la ecuación de deformación normal de Hencky y el esfuerzo corregido con diferentes variables: concentración de cloruro de sodio (0.5%, 2% y 4%), concentración de aditivos alimentarios al 1% y 2 %, relación p/p entre las mezclas de aditivos (80/20, 70/30 y 50/50), y cantidad de grasa (4%, 6.5% y 9%).

Se observó que se forman geles más elásticos cuando se emplean mezclas de goma de mucílago de Nopal con *kappa* carragenina en la relación peso/peso 70/30 a una concentración de cloruro de sodio al 0.5%, y exhibe menos sinéresis a una concentración de aditivo al 1%. Lo cual resulta de interés en posibles aplicaciones en la industria de alimentos.

# INTRODUCCIÓN

La comercialización de alimentos se enfrenta con frecuencia a la necesidad de desarrollar nuevos productos cárnicos que presenten propiedades mecánicas y funcionales con mayor aceptación en el mercado sin perder sus propiedades nutricionales y sensoriales.

Durante años tanto las proteínas como los polisacáridos han sido utilizadas para desarrollar o modificar la textura de los alimentos. Sin embargo, en años recientes el uso de mezclas de estas macromoléculas ha abierto la posibilidad de obtener una gama más amplia de texturas y una combinación de propiedades reológicas.

A partir de la presencia de efectos sinérgicos en biopolímeros manifestado por ejemplo, en mezclas de xantana - goma de algarrobo, donde la xantana es la que ejerce mayor efecto en las propiedades reológicas (Williams, 1990, Fernández et al., 1994), ha crecido el interés por descubrir nuevos agentes gelificantes a través de combinaciones de hidrocoloides.

Algunos autores han reportado modelos de interacción de cadenas, pero ninguno todavía es totalmente aplicado e inclusive se siguen buscando nuevas mezclas con propiedades reológicas atractivas. La compleja interacción de factores involucrados en este tipo de sistemas bifásicos o multifásicos ha propiciado la generación de productos desarrollados sobre una base empírica.

Varios estudios reológicos dinámicos se han enfocado sobre todo en sistemas que involucran mezclas de hidrocoloides, con el objetivo de esclarecer el efecto sinérgico observado con algunas mezclas o con la idea de encontrar nuevas mezclas con propiedades reológicas innovadoras. A pesar de los esfuerzos realizados por conocer adecuadamente la estructura y conformación molecular de muchos hidrocoloides (por ejemplo, xantana, gelana, carrageninas, dextrana, pectina y alginato principalmente), existe aún poca información acerca de sus comportamientos macro-estructurales.

El conocimiento de los cambios conformacionales que adoptan los hidrocoloides facilita la interpretación e inclusive podría apoyar la respuesta de las propiedades reológicas y de textura de sus geles. A pesar de lo anterior, existen muchas dudas por esclarecer en la reología de biopolímeros. En consecuencia se ha optado por auxiliarse de técnicas alternas a la reometría para facilitar la interpretación de los resultados.

A partir del interés científico de tener nuevos agentes gelificantes se estudian las propiedades mecánicas del nopal (*Opuntia ficus indica*) para ser utilizado en la industria de alimentos como un agente gelificante, que proporcione propiedades de textura, y que al interactuar con otro tipo de hidrocoloides se comporte de una manera distinta, mejorando propiedades funcionales y teniendo aplicación en productos bajos en grasas.

Además de proporcionar un uso diferente al nopal ya que se encuentra distribuido prácticamente en toda la República Mexicana, en el 70% del territorio nacional, y no se le a dado la relevancia, difusión e importancia que se merece por ser un vegetal tan especial.

## Objetivo General

- Conocer cuantitativamente las propiedades mecánicas de mezclas de *kappa*- carragenina con mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y *kappa*-carragenina con almidón para su aplicación como aditivo alimentario en formulaciones de embutidos cárnicos bajos en grasa y sodio.

## Objetivos Particulares

- Estudiar el efecto de la concentración de iones de NaCl (0.5%, 2% y 4%) en las propiedades mecánicas de geles cárnicos en pruebas de compresión uniaxial.
- Estudiar el efecto de la concentración de las mezclas de hidrocoloides al 1% y 2% en función de sus propiedades de textura.
- Estudiar la fuerza de ruptura, rigidez, y deformación a diferentes relaciones y buscar la mezcla optima para los hidrocoloides empleados en el gel cárnico.
- Estudiar el efecto de la respuesta mecánica cuando se disminuye la cantidad de grasa (9%, 6.5% y 4%).
- Estudiar la cantidad de agua expulsada por los geles cárnicos.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 PRODUCTOS CÁRNICOS

Las carnes, procesadas y curadas son un sistema complejo de tejido muscular con su variedad de proteínas, tejido adiposo con sus muchos triglicéridos, sales inorgánicas, agua y posiblemente hidratos de carbono y otros aditivos. Los contenidos de humedad de las carnes procesadas son mayores que los observados en la carne fresca, ya que a las carnes curadas y procesadas se les añade agua. (Price J.B. 1994)

Las carnes procesadas y curadas varían en su composición dependiendo de diversos factores como: la naturaleza de la carne, que bien puede ser cerdo, res o pavo; la cual a su vez varía en el contenido de grasa y proteína.

Otro factor de variación, se basa en el resto de ingredientes añadidos como son almidones, proteínas vegetales y gomas, que aumentan la capacidad de retención de agua. También se añaden azúcares y sales (poli fosfatos, nitratos, nitritos y cloruro de sodio), para potenciar el sabor y ayudar a la capacidad de retención de agua.

Otro factor a considerar es el método de preparación de los productos cárnicos procesados. Este puede ser por picado, masajeo, o por inyección de la carne, la cual es sometido posteriormente a un tratamiento térmico, en la mayoría de los casos.

### 1.1.1 GEL CÁRNICO (SALCHICHA)

La popular salchicha representa un largo recorrido en la historia desde su presencia, su denominación parte de ser considerada como: Comida de origen alemán, a base de carne picada, de cerdo y algunas veces de bovino, especiada y que tiene forma alargada y cilíndrica.

La salchicha es un producto cárnico curado, emulsionado y cocido en el que se emplea carne muscular de cerdo, carnes de bovino o ternera, carnes de ave de corral, papada de cerdo o lardo, sazónada, condimentada, adicionada de aditivos alimentarios para el curado, agua o hielo para facilitar el mezclado, disolución de las sales de cura y para mejorar la emulsión, el producto se introduce en una envoltura, que tradicionalmente es de intestino de animal, aunque actualmente se utiliza también el colágeno, celulosa e incluso plástico.

Este producto alimenticio embutido es de pasta de color característico, elaborado básicamente en su composición con no menos de 50 % de carne de res y cerdo, mezclado con grasa de cerdo o lardo o las más económicas pueden llevar recorte de grasa. También se le puede incorporar proteínas de origen vegetal con el fin de mejorar su textura firme y elástica, adicionado de condimentos, especias y aditivos para alimentos sometidos a curación pudiendo ser ahumado, o no sometido a cocción y enfriamiento, empacado en material adecuado para su distribución en refrigeración.

### **1.1.2 EMULSIÓN CÁRNICA Y GEL CÁRNICO**

Una emulsión cárnica es un sistema bifásico consistente en partículas de grasa (la fase sólida) suspendidas en una matriz de proteínas solubles en sales y agua (fase líquida). Dispersas en esta fase líquida se encuentran también algunas proteínas insolubles, tejido conectivo, partículas de carne, etc. La fase líquida es realmente un fluido viscoso, y por tanto las emulsiones cárnicas, se consideran como emulsiones falsas.

Las partículas de grasa, generalmente de diámetro entre 0.1 y 100 micrones, están suspendidas en el seno del líquido en virtud de una película proteica. Los grupos hidrofílicos de las proteínas se orientan hacia el agua y los hidrofóbicos hacia la fase grasa, estabilizando la suspensión.

Tanto las proteínas miofibrilares como las sarcoplasmáticas pueden llevar a cabo esta emulsificación.

Sin embargo, las proteínas miofibrilares son absorbidas en la interfase agua-grasa de manera preferente. De ellas, la miosina libre (no unida a la actina), es la más absorbida.

Cuando las proteínas miofibrilares entran en la interfase, pierden su capacidad de unir agua. De esta manera, si todas las proteínas miofibrilares fueran utilizadas en la emulsificación, la capacidad de retención de agua del producto final sería baja.

Una vez que las partículas de grasa se envuelven de proteína se forma la emulsión. Después esta se estabiliza con la desnaturalización proteica asociada al tratamiento térmico.

Las proteínas miofibrilares forman un gel fuerte. Las proteínas sarcoplásmicas sin embargo, dan lugar a geles débiles que no contribuyen a estabilizar el producto.

Las proteínas que forman la interfase agua-grasa pueden desempeñar una función a la vez. Si la interfase se rompe durante alguna de las fases del procesado, se requiere nueva proteína para formar la emulsión.

Las proteínas miofibrilares unen agua por medio de un hinchamiento de la estructura proteica. El agua es atrapada tanto en la estructura como unida a las cargas negativas de la proteína. Esta agua ligada aumenta al incrementar el número de cargas negativas de la proteína al alejarnos de su punto isoeléctrico. La adición de fosfatos alcalinos y sal favorecen la imbibición.

La acción mecánica de picado fino incrementa el hinchamiento de la estructura proteica y ayuda a la extracción de la proteína soluble que forma la interfase agua-grasa. El hinchamiento y la extracción proteica tienen lugar más eficientemente a temperaturas bajas (0-3 °C).



Al llevarse a cabo la cocción de esta emulsión cármica, se produce un fenómeno de gelificación y da lugar a la formación del gel cármico, que es en sí el producto final.

## **1.2 HIDROCOLOIDES**

Los hidrocoloides se caracterizan por ser macromoléculas que en presencia de un disolvente adecuado producen geles o soluciones viscosas a concentraciones bajas. Estos se dividen químicamente en dos grupos: proteínas y polisacáridos. Una descripción de los hidrocoloides en los sistemas alimenticios se plantea brevemente.

Los polisacáridos se caracterizan por ser solubles en agua y presentan importantes aplicaciones industriales debido principalmente a sus propiedades reológicas, determinadas por su composición y por la estructura espacial de sus unidades básicas; por ejemplo, como: agentes espesantes, gelificantes, encapsulantes, floculantes, emulsificantes, formadores de película, inhibición de crecimiento de cristales ó prevención de sinéresis.

Los hidrocoloides más comunes, de acuerdo a su fuente u origen, se han clasificado (Glicksman, 1982; López, et al., 1993):

- a) Naturales (vegetales, animales y microbianos).
- b) Sintéticos.

### **HIDROCOLOIDES DE ORIGEN NATURAL DE VEGETALES**

**Los exudados de arbustos o árboles (carácter aniónico). Ejemplo, acacia, tragacanto, karaya ghatti.**

- a) Extractos de semillas (carácter no iónico). Ejemplo, algarrobo, goma guar, Psyllium, tamarindo.
- b) Los extractos de algas marinas (carácter aniónico). Ejemplo, agar, alginatos, carrageninas, furcellaranas.

- c) Derivados de cereales. Ejemplo, almidones nativos.
- d) Derivados de frutas y vegetales. Ejemplo, pectina, arabinogalactana, inulinas (alcachofas).

## **HIDROCOLOIDES DE ORIGEN NATURAL DE ANIMALES Y MICROBIANOS**

- a) Derivados de extractos animales. Ejemplo, grenetinas, albúminas, caseínatos, quitina (conchas y caparazones de crustáceos e insectos).
- b) Derivados de origen microbiano (biosíntesis). Ejemplo, dextranas, xantana, gelana.

## **HIDROCOLOIDES DE ORIGEN SINTÉTICO**

- a) Derivados de celulosa. Ejemplo, carboximetil celulosa, metil celulosa, hidroximetil celulosa.
- b) Almidones modificados.

En general, se describen a las gomas en sentido amplio como “cualquier polisacárido soluble en agua, que se extrae a partir de vegetales terrestres o marinos, o de microorganismos, que poseen la capacidad, en solución, de incrementar la viscosidad y/o de formar geles, excluyendo a los almidones y las pectinas” (Williams, et al., 1991 y Whistler, 1993 y Whistler y Daniel., 1985). Hughes (1987) por su parte, define a los hidrocoloides como “gomas”, y explica que estas son “sustancias naturales o sintéticas que se disuelven en agua para formar un gel”, o aquellas que son capaces de absorber grandes cantidades de agua para formar una pasta mucilaginosa. Por su parte, Norton (1990), define a los hidrocoloides como polímeros solubles en agua que poseen la habilidad para espesar o formar gel en sistemas acuosos. Sugiere que los hidrocoloides se pueden clasificar con base en su origen, método de aislamiento, función, carga, textura, termorreversibilidad, tiempo de gelificación, o carga de las moléculas. Además, aclarando que las tres últimas proporcionan métodos de clasificación más apropiados para agentes gelificantes. Si bien no son independientes unas de otras, las propiedades

funcionales antes mencionadas pueden ser identificadas y aplicadas tal como se describe en la Tabla 1.1

Aunque el término hidrocoloide incluye tanto a los polisacáridos como a proteínas, en algunos casos, la expresión se restringe a polisacáridos complejos de alto peso molecular, a los cuales se les asigna también el nombre de “gomas”. En este trabajo se consideran como hidrocoloides a los polisacáridos de alto peso molecular, empleando de forma indistinta los términos: polisacáridos, goma e hidrocoloide. En las Tablas 1.1 y 1.2 se ilustran las principales aplicaciones y propiedades reológicas de los hidrocoloides empleados en la industria de aditivos alimenticios. Recientemente los polisacáridos naturales han ocupado un lugar preponderante en la industria de aditivos alimenticios.

**Tabla 1.1** Función de los polisacáridos en productos alimenticios.

<b>FUNCION</b>	<b>APLICACIONES</b>
Inhibidor de cristalización.	Helados, jarabes de azúcar.
Agente recubridor.	Confitería.
Emulsificante.	Aderezos y bebidas carbonatadas.
Agente encapsulante.	Sabores.
Formador de película.	Embutidos, cubiertas protectoras.
Agente floculante.	Clarificación de Vinos.
Estabilizador de espumas.	Cervezas, betunes de pasteles.
Agente gelificante.	Pudines y postres.
Coloide protector.	Emulsiones de sabores.
Agente de suspensión.	Leches de chocolate.
Agente espesante.	Salsas, aderezos y mermeladas.

Fuente: Glicksman, (1982), Rinaudo et. al., (1994), Hansen et. al., (1994), Trudso et al., (1991), Norton et al., (1991), Bird et. al., (1993), Whistler., (1990); (1993).

**Tabla 1.2** Hidrocoloides naturales, propiedades y aplicaciones.

<b>Goma</b>	<b>Propiedades Reológicas</b>	<b>Aplicaciones</b>
<b>Alginato</b>	La gelificación sólo se lleva a cabo con cationes divalentes o trivalentes, gelifica en frío formando geles claros que no funden con el calentamiento. Además, forman geles elásticos o quebradizos.	En la formulación de análogos frutales, productos cárnicos, extrusión de proteínas.
<b>Agar</b>	Forma geles termorreversibles, gelifica a concentraciones tan bajas como 0.01%(P/P). Sus geles presentan una amplia variedad de textura desde el quebradizo hasta el muy elástico.	Medios microbiológicos, gelatinas, geles de carnes sintéticas.
<b>Pectina</b>	El comportamiento gelificante depende del contenido de ácido galacturónico esterificado presente.	Gelatinas, jaleas, formulaciones frutales para productos lácteos, estabilización de bebidas y jugos.
<b>Goma arábica</b>	Es muy soluble comparada con otras gomas. En soluciones acuosas presentan un comportamiento Newtoniano a concentraciones inferiores al 40 % (P/P).	En la retardación de la cristalización del azúcar y en aderezos, embutidos y quesos.
<b><i>iota</i>-Carragenina</b>	Forma geles elásticos, no muy rígidos, sin sinéresis. La habilidad de gelificación se refuerza con iones calcio. Además, forma soluciones tixotrópicas.	Flanes, pudines, panadería, yoghurt, aderezos, helados, fórmulas infantiles, control de sinéresis en alimentos instantáneos.
<b><i>kapa</i>-Carragenina</b>	Forma geles quebradizos, tendencia a manifestar sinéresis, su habilidad de gelificación se refuerza con los iones potasio e interaccionan con las proteínas de la leche.	Pudines, rellenos para panadería, yoghurt, helados, postres congelados, flanes.
<b>Algarrobo</b>	Soluble parcialmente en agua fría, no gelifica, forma soluciones muy viscosas a concentraciones cercanas a 0.5% (P/P). Manifiesta sinergismo con k-carragenina y xantana.	Postres congelados, quesos frescos, embutidos.
<b>Goma guar</b>	Soluble en agua fría, sus soluciones tienen viscosidades similares a las de la goma de algarrobo, no gelifica. Son polisacáridos de carácter no iónico y por lo tanto insensible a los iones y al pH.	Postres congelados, quesos frescos, embutidos.
<b>Dextrana</b>	Polisacárido neutro, soluble tanto en agua fría como en caliente, forma soluciones claras y compatibles con la mayoría de los ingredientes comúnmente encontrados en alimentos.	Alimentos horneados, cerveza, elmusificante y estabilizante de sistemas aceite-agua.
<b>Gelana</b>	Requiere la presencia de cationes para formar geles (Ca <sup>++</sup> ). Forma geles claros y termorreversibles, la dureza de sus geles se mantiene estable con el pH. La naturaleza y concentración del catión afectan la temperatura de transición sol-gel, así como la fuerza del gel. La formación de gel se puede llevar con concentraciones de 0.05%(P/P).	Gelatinas, mermeladas, confituras, glaseados, postres instantáneos, helados, malteadas, yoghurt, pudines.

Fuente: Whistler, 1990; 1993, Therkelsen, 1983, Stanley, 1990, Sanderson, 1990, Glicksman, 1982, Johnston & Banks, 1990, Matsushashi, 1990, Sime, 1990, Rolin, et al., 1990.

Su consumo en el mercado se ha incrementado, lo cual se debe a que presentan ciertas ventajas con respecto de los que son sintéticos (por ejemplo, su producción puede ser controlada cuidadosamente), tal como se observa en la Tabla 1.3.

**Tabla 1.3** Consumo en el mercado de los polisacáridos de 1988-1995.

<b>POLISACARIDO</b>	<b>(%) DE INCREMENTO DE CONSUMO</b>
Xantana	10.70%
Almidones modificados	4.6
Pectina	3.6
Goma guar	3.2
Carrageninas	2.8
Grenetinas	2.3
Alginatos	1.3
Algarrobo	0.6
Goma karaya	-2.2
Agar	-2.8
Goma arabiga	-3.5
Tragacanto	-6

Fuente: Norton., 1991, Gordon., 1995 (Giract Sarl).

### **1.2.1 PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS HIDROCOLOIDES**

La estructura de los hidrocoloides es uno de los factores que establecen la cantidad de interacciones que se pueden desarrollar entre la cadena del polisacárido y las moléculas adyacentes a él. Los hidrocoloides suelen presentar estructuras lineales o ramificadas. Para moléculas de polisacáridos fuertemente ramificados, el volumen efectivo (volumen hidratado) ocupado por el polisacárido disuelto es menor que el ocupado por un polisacárido del mismo peso molecular o inferior extendido linealmente. Por lo tanto, los polisacáridos muy ramificados presentan menor viscosidad que los lineales del mismo peso molecular. No obstante, las moléculas lineales pueden enrollarse y ocupar volúmenes pequeños. En el caso de los polisacáridos ramificados, si las ramas están constituidas por unidades de un solo monosacárido, estas proyecciones

cortas son capaces de inhibir el enrollamiento de la molécula y extenderse entonces en toda su longitud.

Las propiedades funcionales desarrolladas por los hidrocoloides son debidas a las interacciones que establecen con su entorno, el cual puede estar constituido por moléculas de agua, iones u otras macromoléculas. Estas interacciones se generan mediante enlaces de hidrógeno, enlaces iónicos o fuerzas de Van Der-Waals, predominando en la mayoría, los enlaces hidrógeno (Dea., 1983).

Como se menciona anteriormente, la importancia de los hidrocoloides se basa en sus propiedades funcionales. Estas propiedades se desarrollan cuando las moléculas de los polisacáridos son hidratadas o disueltas en agua para producir un efecto espesante o gelificante. A pesar de que todos los hidrocoloides presentan la propiedad de impartir viscosidad o espesamiento en soluciones acuosas, sólo unos pocos son capaces de formar geles; además del espesamiento y la gelificación, existen otras propiedades funcionales que son útiles en el desarrollo de productos alimenticios. En algunos alimentos se aprovechan más de una de estas propiedades funcionales.

### **1.2.2 ESPESAMIENTO E HIDRATACIÓN**

En el estado sólido todos los polisacáridos tienen regiones donde las moléculas o segmentos de cadenas están en un arreglo desorganizado, en consecuencia, estas regiones amorfas tienen numerosas posiciones de enlaces puente de hidrógeno, los cuales pueden hidratarse fácilmente (Glicksman., 1982). Por lo cual, cuando un polisacárido soluble es puesto en un medio acuoso las moléculas de agua rápidamente penetran en las regiones amorfas y se enlazan a los sitios disponibles del polisacárido compitiendo con los enlaces intermoleculares hasta reducirlos a un número despreciable.

El estado intermedio en la disolución de la molécula del polímero representa un gel en estado transiente. Los polisacáridos solubles continúan la hidratación hasta que sus moléculas son completamente rodeadas de moléculas de agua

parcialmente inmobilizadas y el polímero se encuentra monodisperso (Glicksman., 1982). Las moléculas hidratadas y abiertas de los polisacáridos ocupan, aproximadamente, espacios esféricos cuando giran en solución. A menudo estas esferas móviles establecen contacto entre ellas y dan lugar a una viscosidad superior a la del agua sola, lo que representa un espesamiento del sistema líquido y una reducción de su velocidad al flujo.

### **1.2.3 GELIFICACION**

La gelificación es el fenómeno que involucra la asociación o entrecruzamiento de las cadenas de polisacáridos para formar una red tridimensional continua, la cual atrapa e inmobiliza el agua dentro de ésta para formar una estructura firme y rígida que es resistente al flujo bajo una sollicitación mecánica (Glicksman., 1982). El gel se forma debido a que las macromoléculas hidratadas giran, originando el deslizamiento de los agregados de agua y con ello su reorganización, lo cual provoca que la molécula del polisacárido adquiera una forma helicoidal que le permita asociarse con ella misma para componer hélices o incluso dobles hélices con otras macromoléculas helicoidales. Cuando un número suficiente de moléculas de polisacáridos se encuentran unidas en diferentes puntos, surge un retículo tridimensional que retiene agua en cantidad importante provocando la formación del gel. La estabilidad del gel depende del tipo de enlaces que están involucrados en la formación de la red tridimensional. Si las fuerza involucradas son sólo fuerzas débiles del tipo de Van der Waals, los geles son inestables y débiles. Cuando los enlaces involucrados son enlaces hidrógeno o enlaces de fuerza comparable, se encuentra una estructura estable. Finalmente, la presencia de enlaces covalentes entre unidades individuales en la red dan lugar a un gel firme.

La mayoría de los geles al envejecer suelen presentar el fenómeno conocido como sinéresis, el cual consiste en la liberación espontánea del agua atrapada en la red debido a la contracción que sufre el gel como resultado de la formación de enlaces adicionales entre los elementos móviles presentes en la estructura. Generalmente se lleva a cabo debido a variaciones de la temperatura (Whistler, et al., 1985; Whistler, 1993).

### 1.3 CARRAGENINAS

El carragenano o carragenina (o más propiamente las carrageninas, dado que es una mezcla de varios polisacáridos) se encuentra relleno en la estructura de celulosa de las paredes celulares de algunas algas de varias familias de Rhodophyceae (algas rojas). *Chondrus crispus*, el alga tradicional productora de carragenina, conocida como "musgo irlandés", es de pequeño tamaño, y vive en aguas frías, estando distribuida en las costas del Atlántico Norte.

Estas algas se han utilizado de forma tradicional en Irlanda desde hace al menos 600 años para fabricar postres lácteos, simplemente haciéndolas hervir en leche para que se liberen las carrageninas.

En el siglo XVIII, los irlandeses emigrados a EE.UU. encontraron algas semejantes que también podían utilizarse para las mismas aplicaciones. El nombre de carragenina procede supuestamente del lugar de Carrageen (o Carragheen), en el condado de Waterford, en Irlanda. Sin embargo, probablemente el nombre del lugar proceda a su vez de una expresión gaélica antigua para designar el alga, "cosáinín carraige".

El nombre de "furcellerano" se utilizó antiguamente para el carragenina obtenido de *Furcellaria*, pero actualmente está en desuso, al ser el mismo producto.

La carragenina se obtuvo por primera vez en forma pura en 1844, mediante extracción en medio alcalino y precipitación con alcohol, sistema que, entre otros, aún se utiliza. En la década de 1930 comenzó su producción industrial en Estados Unidos, que se expandió durante la Segunda Guerra Mundial, al no disponer de suministro de agar de Japón. En la Unión Europea le corresponde el código de aditivo alimentario E-407.



### 1.3.1 ESTRUCTURA QUIMICA

Los carrageninas están formados por unidades de galactosa y/o de anhidrogalactosa, sulfatadas o no, unidas por enlaces alternos  $\alpha(1-3)$  y  $\beta(1-4)$ .

El peso molecular es normalmente de 300 000 a 400 000. La longitud de la cadena es importante, ya que por debajo de 100 000 de peso molecular, la carragenina no es útil como gelificante. Dependiendo del grado de sulfatación, de las posiciones de los grupos sulfato y de la presencia de grupos de anhidrogalactosa se distinguen varios tipos de carragenina, con propiedades como hidrocoloides claramente distintas. A mayor proporción de grupos sulfato, la solubilidad es mayor, y a mayor proporción de grupos de anhidrogalactosa la solubilidad es menor. Aunque existen alrededor de una docena de tipos, los más importantes son las carrageninas  $\kappa$ ,  $\iota$  y  $\lambda$ .

La carragenina  $\kappa$  está formada por unidades alternas de galactosa con un grupo sulfato en el carbono 4 y unidades de anhidrogalactosa sin sulfatar.

La carragenina  $\iota$  está formado por unidades alternas de galactosa con un grupo sulfato en el carbono 4 y de anhidrogalactosa con un grupo sulfato en el carbono 2.

La carragenina  $\lambda$  está formado por unidades alternas de galactosa con un grupo sulfato en el carbono 2 y de anhidrogalactosa con dos grupos sulfato, uno en el carbono 2 y otro en el carbono 6.

Tanto la  $\kappa$ -carragenina como la  $\iota$ -carragenina son capaces de formar geles. A temperaturas elevadas, las cadenas se encuentran desenrolladas y dispuestas al azar. Al bajar la temperatura, las cadenas de polisacárido se asocian por puentes de hidrógeno formando hélices dobles, quedando hacia el exterior los grupos sulfato y los puentes de la anhidrogalactosa. Estas interacciones no suelen ser suficientes para formar un gel, ya que las cargas de los grupos sulfato hace que las hélices se repelan. Dependiendo de la presencia de iones que neutralicen los sulfatos, y del tipo de carragenina, las hélices pueden agruparse entre ellas una vez formadas, produciéndose entonces primero la

formación del gel, en el que las zonas desorganizadas son las que retienen la mayoría del agua, y eventualmente la compactación del gel y la sinéresis.

### **1.3.2 BIOSINTESIS**

Existe evidencia que sugiere que las carrageninas son producidas en los aparatos de Golgi de las algas rojas (Therkelsen, 1983., Stanley., 1990). Se cree que el esqueleto de D-galactanos en las carrageninas es sintetizado a partir de los nucleótidos de UDP-D-galactosa o GDP-D-galactosa. Al menos se requieren dos sulfotransferasas específicas para convertir este precursor 6-sulfatado D-galactano en  $\lambda$  y  $\mu$ -carrageninas. Para la  $\iota$ -carragenina se ha sugerido que se sintetiza por la acción de una sulfoeliminasa sobre un precursor más sulfatado (Therkelsen, 1983); la otra fracción mayoritaria ( $\kappa$ -carragenina) es sintetizada por la acción de otra sulfoeliminasa sobre la  $\mu$ -carragenina.

Además de las variedades estructurales dentro de cada cadena, existen variedades estructurales de una cadena a otra provenientes de un mismo extracto, siendo posible obtener fracciones más homogéneas por medio de la precipitación con sales. Esta es la base para definir diferentes tipos de carrageninas, como por ejemplo, al decir que la  $\kappa$  y  $\lambda$  carrageninas son las fracciones que son insolubles o solubles respectivamente en una solución de cloruro de potasio 0.25 M (Picullel, 1995., Picullel et al., 1992).

El método de obtención de carragenina consiste de extracción, purificación, concentración, precipitación y secado (Glicksman., 1982; Stanley., 1990 y Therkelsen., 1983). Después de su recolección, las algas se secan al sol o mecánicamente; posteriormente se lavan para retirar arena, suciedad y materia extraña.

Así, las carrageninas se extraen mediante cocción en una solución fuertemente alcalina a temperatura cercana al punto de ebullición. Las algas se mantienen en este medio por un periodo de tiempo de 10 a 30 horas. La cantidad de álcali empleado, la temperatura y el tiempo de cocción son factores que controlan las

cantidades de 3,6-anhidro-D-galactosa que pueden producirse. Las carrageninas de mejor calidad se obtienen por el método de precipitación con alcohol.

Los residuos de alga se separan del extracto por centrifugación o filtración y el extracto se purifica por filtración a través de silica porosa o carbón activado para producir una solución con una concentración de 1 al 2 % de carragenina. Posteriormente la solución filtrada se concentra en evaporadores de vacío de múltiple efecto hasta una concentración final del 2-3 %.

Finalmente, la carragenina se precipita de la solución por la adición de alcohol, generalmente 2-propanol, dando un coágulo de carragenina fibroso que se comprime para retirar la humedad residual; el alcohol es recuperado por destilación. La carragenina recuperada es secada empleando un secador a vacío o empleando un gas inerte. Después el producto seco es triturado hasta obtener el tamaño de partícula requerido.

### **1.3.3 TIPOS DE CARRAGENINAS**

Existen tres tipos importantes de carragenina, designadas cada uno de ellos mediante una letra griega, ( $\kappa$ ) kappa, ( $\lambda$ ) lambda, y ( $\iota$ ) iota.

*Chondrus crispus* produce una carragenina que es mezcla de los carrageninas kappa e iota. También se obtienen carrageninas por recolección del alga *Furcellaria fastigiata* en las costas europeas del Atlántico Norte, de *Phyllophora nervosa* en el mar Negro, de algas del género *Hypnea* en las costas de Brasil, y de *Gigartina* en Argentina y Perú.

Estas algas son de gran tamaño. Desde la década de 1980, una parte muy importante de la producción mundial de carragenina se obtiene mediante cultivos de algas de las especies *Kappaphycus alvarezii* y *Eucheuma denticulatum* en las zonas costeras de Filipinas e Indonesia. Estas algas se cosechan cada tres meses.

El alga *Euchema spinosum* produce un carragenina en el que predomina el iota carragenina, lo mismo que *E. isiforme* y *E. uncinatum*. Las algas *Euchema cottonii*, *E. striatum*, *E. procrusteanum*, *E. procrusteanum* y *E. speciosum* producen una carragenina en el que predomina el kappa carragenina.

#### 1.3.4 PROPIEDADES

Las carrageninas son solubles en caliente, a temperaturas del orden de 80 °C, y se mantienen en disolución al enfriar, si se encuentran en forma de sal sódica. Los geles de carragenina son reversibles térmicamente. A pH neutro, el calentamiento prácticamente no le afecta, aunque las cadenas se rompen por hidrólisis cuando se calienta en medio ácido, especialmente por debajo de pH 3.5.

Las propiedades reológicas, y especialmente la capacidad de formación de geles, varía mucho dependiendo del tipo de carragenina. La  $\lambda$  -carragenina, el que tienen mayor contenido de sulfato y consecuentemente mayor carga negativa, no es capaz de formar geles por sí mismo. Forma disoluciones pseudoplásticas, con un comportamiento no newtoniano en cuanto a la viscosidad. La viscosidad depende del tipo concreto, pero se ve relativamente poco influida por la presencia de sales.

La  $\kappa$  -carragenina, por el contrario, forma geles rígidos y quebradizos, semejantes a los del agar, en presencia de iones potasio. Son más opacos que los de agar, pero la transparencia aumenta en presencia de azúcar. Estos geles son muy propensos a la sinéresis, tanto mayor sea la concentración de potasio, y no resisten la congelación / descongelación, siendo la sinéresis aún mayor en presencia de iones calcio. Las propiedades de estos geles mejoran mucho si se forman en presencia de goma de algarrobo, al asociarse las hélices de  $\kappa$  -carragenina con las regiones no ramificadas de la goma de algarrobo. También actúa de la misma forma la goma konjac, pero no otras. La  $\kappa$  -carragenina se utiliza en concentraciones entre el 0,02 % y el 2%.

La  $\iota$  -carragenina forma geles en presencia de iones calcio, geles que son elásticos, sin tendencia a la sinéresis y que resisten la congelación. Este tipo

de carragenina mejora las propiedades de los geles de almidón, evitando la sinéresis y obtener geles mucho más resistentes.

También permite obtener de esta forma "salsa bechamel" que es sólida en frío, que puede cortarse fácilmente en piezas del tamaño y forma adecuados, y que se funde al calentar.




Tanto la  $\kappa$  -carragenina como la  $\iota$  - carragenina forman geles mixtos con la proteínas de la leche, geles que se asemejan en sus propiedades a los del polisacárido, es decir son quebradizos en el caso de la  $\kappa$  -carragenina y elásticos en el caso de la  $\iota$  carragenina. Sin embargo, no presentan tendencia a la sinéresis, como la  $\kappa$  -carragenina.

La unión del polisacárido y la caseína es de tipo iónico, entre las cargas negativas de la carragenina y las positivas de la zona externa de la micela. Esta asociación aumenta mucho la resistencia del gel, de tal forma que se pueden obtener productos sólidos, como postres lácteos, con una concentración de carragenina de solamente el 0,2%.

La variabilidad de las propiedades de las carrageninas en función de cual sea el tipo predominante, los hace muy versátiles, y cada vez tienen más aplicaciones en la industria alimentaria.

La interacción con las micelas de caseína hace que la carragenina tenga aplicaciones en todos los materiales que contienen leche. Además de formar geles, a concentraciones muy bajas, del orden del 0,02% estabiliza suspensiones en medios lácteos, como batidos. También se comporta muy bien en productos cárnicos procesados y reestructurados, y en postres de tipo gelatina, mermeladas, gominolas y derivados de frutas, siempre que el pH sea superior a 3,5. Algunas de estas propiedades se ilustran en la tabla 1.4.

**Tabla 1.4** Propiedades de las carrageninas (Imerson A 1992).

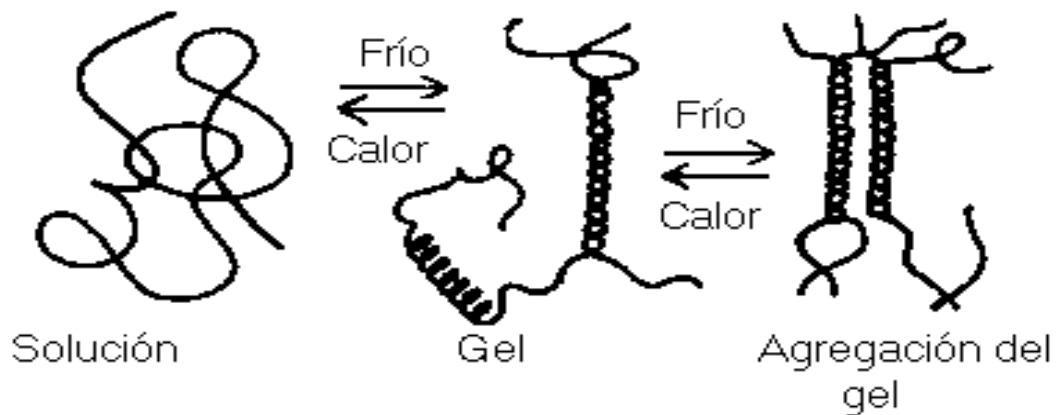
Propiedades de las carrageninas	<b>Kapa</b> Aproximadamente 25% ester sulfato y 34% 3,6 anhidra-D-galactosa. 	<b>Iota</b> Aproximadamente 32% ester sulfato y 30% 3,6 anhidra-D-galactosa. 	<b>Lambda</b> Aproximadamente 35% ester sulfato y escasamente 3,6 anhidra-D-galactosa. 
Solubilidad 80 °C agua 20 °C	Si Si con sales Na+ soluble Sales K+, Ca+ y NH4 hinchamiento y solubilidad.	Si Si con sales Na+ soluble Sales Ca+ y Hinchamiento y solubilidad.	Si Si
Gelificación Gel fuerte Textura del gel Sinéresis Estabilidad .enfriamiento Estabilidad en ácido (gel pH 3.5) Tolerancia a las sales	Con iones potasio  Rígido Si No  Estable  Poca	Con iones calcio  Elástico No Si  Estable  Buena	No hay gel

### 1.3.5 GELIFICACIÓN

Las carrageninas en presencia de agua se hinchan y se requiere de un calentamiento ligero para que se disuelvan. La solución resultante tiene una baja viscosidad a temperaturas mayores de 60 °C, pero al enfriarse forma geles, cuya calidad y rigidez dependen de la concentración del coloide y de la cantidad de iones K, NH<sub>4</sub>, Ca, Sr y Ba que contengan.

El mecanismo de gelificación no es totalmente conocido; son embargo, se ha visto que las moléculas de carragenina tienen estructuras helicoidales a través

de las cuales pueden reaccionar entre ellas formando una red tridimensional. A temperaturas mayores del punto de fusión del gel existe una agitación térmica que impide que se produzcan las hélices y por lo tanto el polímero existe en solución con una conformación al azar. Posteriormente, cuando se enfría se produce una transición sol-gel que induce la formación de una estructura tridimensional en la cual las dobles hélices son los puntos de unión de las cadenas de los polímeros; al seguir enfriando se favorece la agregación de las moléculas, lo cual resulta en la formación final del gel como se ve en la figura 1.1. y la rapidez con la que estas transiciones ocurren, afectan la rigidez del gel (Badui D S. 2006).



**Figura 1.1** Gelificación de las Carrageninas (Imerson A 1992).

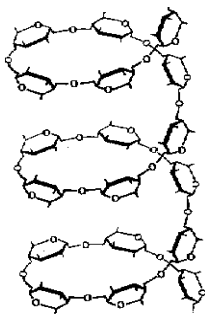
#### 1.4 ALMIDÓN

Es un polisacárido que abunda en , raíces, tallos o semillas y que es utilizado como reserva energética en las plantas y normalmente se almacena en partículas pequeñas conocidas como gránulos .La estructura rígida de los gránulos está formada por capas concéntricas de amilosa y amilopectina que se encuentran radialmente distribuidas y que permanecen inalterables durante la molienda, el procesamiento y la obtención de los almidones comercialmente utilizados en alimentos La propiedad de birrefringencia de los gránulos se debe a la formación de zonas cristalinas producidas por la unión de moléculas lineales a través de puentes de hidrogeno, por lo que la presencia de moléculas ramificadas impide este arreglo cristalino debido a que forman zonas de

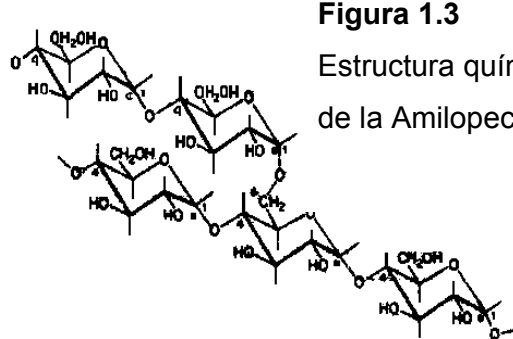
estructura amorfa que no tienen características de birrefringencia.(Badenhuizen N.P. 1965).

Es utilizado el almidón para impartir o controlar características como: Textura, frescura, consistencia y estabilidad. Químicamente el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares amilosa (Fig. 1.2) y amilopectina (Fig.1.3). La amilosa, producto de la condensación de hexosas (D-glucopiranosas) forma cadenas largas lineales que pueden tener 200 a 2500 unidades, con pesos moleculares que llegan hasta un millón de daltones.

Los monosacáridos están unidos a través de enlaces glucosídicos  $\alpha$ -D (1----4), es decir, la amilosa es una  $\alpha$ -D (1----4) glucono, siendo la  $\alpha$ -maltosa la unidad repetitiva de esta estructura química. Una propiedad de la amilosa es su facilidad para adquirir una conformación tridimensional helicoidal. Por otra parte, la amilopectina es otro  $\alpha$ -D. Glucano, que se diferencia de la amilosa por la presencia de ramificaciones y la forma molecular similar a un árbol en el que la ramas están unidas al tronco central por enlaces  $\alpha$ -D(1----6). Las ramificaciones se localizan aproximadamente cada 15-25 unidades de moléculas lineales de D-glucosa. El peso molecular de la amilopectina es muy superior al millón, pudiendo alcanzar hasta 200 millones de daltones. En términos generales, los almidones contiene aproximadamente 17-27% de amilosa y el resto es de amilopectina aunque algunos cereales como el maíz, el sorgo y el arroz, tienen variedades céreas constituidas casi únicamente por amilopectina con un mínimo de amilosa (Badui D. S. 2006).



**Figura 1.2**  
Enrollamiento  
helicoidal de  
la amilosa



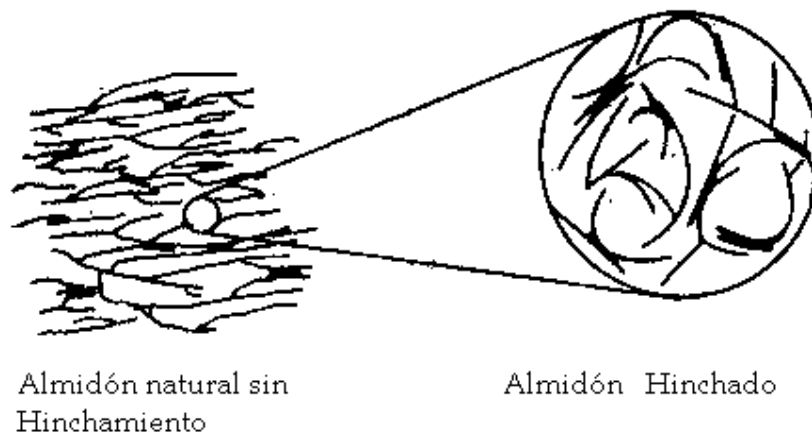
**Figura 1.3**  
Estructura química  
de la Amilopectina



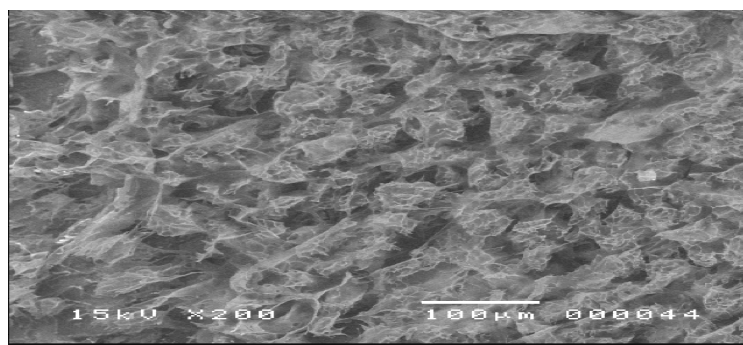
### 1.4.1 GELIFICACIÓN

La gelatinización se da de una manera lenta, a través de sus zonas amorfas (ver figura 1.4), los gránulos de almidón absorben diferentes cantidades de agua, según la especie y las proporciones de las dos fracciones constitutivas. El gránulo, en presencia de agua fría, se hincha y aumenta ligeramente de tamaño, lo cual solo se puede observar en el microscopio figura 1.5. Cuando las suspensiones de almidón se calientan a temperatura de más de 50-55°C, los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas se rompen y continúa la absorción de una mayor cantidad de agua. A medida que se incrementa la temperatura aumenta el agua absorbida y parte de las moléculas de amilosa de bajo peso molecular se disuelven y difunden fuera del gránulo, mientras que las cadenas de mayor tamaño permanecen en el impidiendo que exista más solubilización de las de bajo peso molecular. (Badui D. S. 2006)

La temperatura a la que se pierde la birrefringencia y se produce el máximo hinchamiento de los gránulos de almidón, se llama temperatura de gelatinización, y a esta temperatura existe un alto grado de absorción de agua que hace que las dispersiones de este polímetro alcancen grandes viscosidades.



**Figura 1.4** Representación esquemática de la absorción de agua por el almidón, en la que las zonas cristalinas del gránulo están representadas por las líneas más intensas de que reciben el nombre de micelas. Cada almidón tiene un diferente grado de cristalización y por lo tanto se hincha y gelatiniza en distintas condiciones de temperatura. (Badui D. S. 2006).



**Figura 1.5** Almidón gelatinizado con *kapa* carragenina concentración total 2% proporción 50/50. (Reyes García A.L.)

A medida que continúa este proceso, los gránulos se rompen y aparecen grandes viscosidades. A medida que continúa este proceso, los gránulos se rompen y aparecen moléculas libres hidratadas de amilosa amilopectina, y la viscosidad de la pasta se reduce hasta alcanzar un cierto valor en lo que se estabiliza. La temperatura de gelatinización se expresa como un intervalo, ya que no todos los gránulos se hinchan y gelatinizan al mismo tiempo y temperatura debido a que algunos son más resistentes y por lo tanto pueden requerir hasta 10 °C más que otros. Como se observa en la Tabla 1.5.

**Tabla 1.5** Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria (Badui D. S. 2006).

Tipo	Amilopectina (%)	Amilosa (%)	Temperatura de gelatinización (°C)	Tamaño de gránulos (micras)
Maíz	73	27	62-72	5-25
Papa	78	22	58-68	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
Tapioca	82	18	51-65	5-35
Trigo	76	24	58-64	11-41

## **1.5 POLISACARIDOS A PARTIR DE CACTACEAS**

En las últimas décadas ha aumentado el interés por el uso de hidrocoloides de origen natural, principalmente por la inquietud de mejorar las alternativas existentes en el mercado, buscando hidrocoloides con propiedades funcionales novedosas. En base a lo anterior, se han buscado alternativas a partir de exudados gomosos, por lo que una alternativa interesante parece ser a partir de las cactáceas.

En México, una planta originaria del continente americano y ampliamente distribuida en el antiplano mexicano es la *Opuntia ficus indica*. Esta pertenece a la familia de las cactáceas y se encuentra localizada en la mayoría de las condiciones ecológicas, llegando a ocupar cerca de 30 millones de hectáreas en diferentes estados, como: Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luís Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Chihuahua, Tamaulipas, Durango y Aguascalientes (Ramírez, 1972; Bravo-Hollins, 1978; Pimienta., 1990).

La *Opuntia ficus indica* es muy adaptable a diversas condiciones de suelos (por ejemplo, suelos calcáreos, arenosos, con pH alcalino y altitudes que varían de 800 y 2500 m) y en su desarrollo requiere temperaturas anuales entre 18 - 25 °C (Ramírez, 1972; Bravo-Hollins, 1978; Pimienta., 1990). En base a lo anterior, resulta prometedora la obtención de una goma a partir de esta especie.

### **1.5.1 NOPAL (*OPUNTIA FICUS INDICA*)**

La *Opuntia* es un género de la familia de las cactáceas que consta de más de 300 especies todas oriundas del continente americano desde el norte de EEUU hasta la Patagonia, donde crecen de forma silvestre. Fueron introducidas en Europa por los conquistadores y se naturalizaron fácilmente en la región mediterránea. La especie tipo es la *Opuntia ficus-indica* conocida popularmente como nopal, tuna o chumbera; sus frutos comestibles, las tunas o higos chumbos, son muy populares en México, las Islas Canarias, Andalucía y Marruecos.

Las plantas conocidas bajo el nombre común de nopal han sido clasificadas de dentro de la familia de las Cactáceas en genero *Opuntia* y subgénero *Platyopuntia*.

Estas plantas en general poseen la característica de ser arborescente, arbustivas o rastreras, con o sin tronco bien definido, artículos aplanados (cladiodios), de forma lanceolada, elípticos, las espinas no llevan vainas, las flores son grandes, frecuentemente amarillas, aunque a veces son de color rosa, anaranjado o rojizo. Estas plantas, además, presentan las características físicas de ser de 3 a 5 metros o más, de tallo leñoso bien definido de 60 cm. a 1.5 m de altura y 20 a 30 cm. de diámetro. Sus artículos son oblongos de 30 a 60 cm. de largo y 20 a 40 cm. de ancho y 1.9 a 2.8 cm. de grueso. Color verde opaco y sus espinas casi siempre ausentes, y cuando existen son escasas y pequeñas. Las flores de 7 a 10 cm. de diámetro y como de 6 a 8 cm. de largo y su fruto oval, de 5 a 10 cm. de largo y de 4 a 8 cm. de diámetro, son más utilizadas para el consumo directo.

En cactáceas tales como el nopal, alcanza valores de agua mayores al 90% en tallos, pencas y frutos. El contenido de las células vegetales es un medio siempre rico en agua; el porcentaje de ésta, por otra parte, es diferente según las funciones fisiológicas y edad de los tejidos, máxime durante el período del crecimiento, pudiendo alcanzar, por lo tanto, en los órganos jóvenes, del 90 al 95%.

En lo que respecta a la planta del nopal, se han encontrado porcentajes de humedad muy variables; Cravioto 1951, en los trabajos del Instituto Nacional de Nutrición, encuentran los siguientes porcentajes de humedad en algunas plantas alimenticias.

La cantidad y calidad de minerales que se localizan formando parte de los órganos y tejidos del nopal son muy variables, no sólo en diferentes especies, sino también dentro de una misma; dicha heterogeneidad se basa en las diferencias determinadas genéticamente por sus necesidades, variación climática y composición química de suelo.

Los principales componentes minerales del nopal son el calcio y el potasio, presentándose también magnesio, sílice, sodio y pequeñas cantidades de fierro, aluminio y magnesio, predominando en forma de carbonatos y en ocasiones como cloruros, sulfatos y en pequeñas cantidades de fosfatos.

También dentro de la composición química del nopal (ver tabla 1.6) existen lípidos, carbohidratos, vitaminas y otros compuestos en menor proporción como fenoles.

**Tabla 1.6** Composición química del nopal (*Opuntia ficus indica*).

ANÁLISIS	CARACTERISTICA	FUENTE
<b>HUMEDAD</b>	<b>90-95 %</b> El agua es el principal componente de los nopales y su contenido varía con la especie, humedad del suelo, la disponibilidad del agua en este y la edad de la planta.	Villarreal, et al, 1963.
<b>COMPUESTOS NITROGENADOS.</b>	<b>7.33-13.63 %</b> Este elemento se encuentra en compuestos como las proteínas.	Villarreal, et al, 1963.
<b>LÍPIDOS</b>	<b>1.22 %</b> El contenido de lípidos es bajo. Posee proporciones variables de triglicéridos, ceras, resinas, látex, flavonoides, taninos, pigmentos clorofiloides y carotenoides.	Villarreal, et al, 1963 Bravo-Hollins, 1978
<b>CARBOHIDRATOS</b>	<b>Polisacáridos Totales: 8.49 %</b> Los principales carbohidratos son: Monosacáridos, disacáridos y polisacáridos, se ha aislado: glucosa, fructosa, arabinosa, xilosa, galactosa y ácido galacturónico.	Mc Garvie y Parolis, 1979; 1981.
<b>VITAMINAS</b>	La presencia de ácido ascórbico, caroteno, tiamina, riboflavina y niacina.	Villarreal, et al, 1963
<b>OTROS COMPUESTOS ORGANICOS</b>	Se encuentran en menor proporción: almidones, aceites, celulosa, sustancias pécticas, ceras, saponinas, aceites esenciales, resinas, latex, fenoles, pigmentos y alcaloides.	Villarreal, et al, 1963

El nopal es un producto que debido a sus amplias características nutricionales es recomendado por los nutriólogos para su consumo. Como se observa en la tabla 1.7 de valor nutricional y la cantidad de aminoácidos que contiene el nopal tabla 1.8.

**Tabla 1.10** El valor nutricional del nopal en 100g peso neto (SARH 2006).

<b>CONCEPTO</b>	<b>CONTENIDO</b>
Porción comestible	78%
Energía	27 Kcal.
Proteínas	1.70 g
Grasa	0.30
Carbohidratos	5.60 g
Calcio	93.00 mg
Hierro	1.60 mg
Tiamina (vitamina B1)	0.03 mg
Riboflavina (vitamina B2)	0.06 mg
Niacina	0.30 mg
Acido Ascórbico (vitamina C)	8.00 mg
Retinol	41.00 mg/ Eq

**Tabla 1.11** Aminoácidos que contiene el nopal (SARH 2006).

<b>AMINOACIDO</b>	<b>CONTENIDO</b>
Lisina	4.00
Isoleucina	4.00
Treonina	4.80
Valina	3.80
Leucina	5.20
Triptófano	0.80
Metionina	0.70
Fenilalanina	5.40

### **1.5.2 CONDICIONES CLIMATICAS PARA LA PRODUCCION DEL NOPAL (*Opuntia ficus indica*).**

El nopal (*Opuntia ficus indica*) se recolecta principalmente en la Delegación Política de Milpa Alta, ubicado al sur del Distrito Federal. Esta Delegación Política limita al sur con el Estado de Morelos y al este con el Estado de México.

En el Estado de México, el conjunto de condiciones que favorecen la producción anual son:

Latitud:	18.8 ° Norte.
Temperatura:	Promedio anual de 10-12 °C (máx. 27.5 y min. 3 °C).
Altitud:	Entre 2000 y 3000 m sobre el nivel del mar.
Precipitación pluvial:	Promedio anual de 924 mm.
Suelo:	De profundidad media, de composición arcillosa.
Clima:	Húmedo.

Estas condiciones favorecen las poco más de cuatro mil hectáreas dedicadas al cultivo del nopal, que representan el 75 % de la superficie total nacional y el 83 % del volumen de producción nacional (Informe Técnico SARH, 1993).

Es importante destacar que los rendimientos son muy variables de región en región, si se considera que las características propias del cultivo en algunas zonas se dan casi en forma silvestre.

La mayor concentración de la superficie del nopal verdura (*Opuntia ficus indica*) en el país, se localiza en el Distrito Federal, siendo este el principal productor (ver tabla 1.9). Su precio medio rural y el de producción varían considerablemente entre los estados productores, tal como se aprecia en la Tabla 1.10.

**Tabla 1.9** Cultivo del nopal (*Opuntia ficus indica*) en México.

ESTADO	SUPERFICIE SEMBRADA (ha)	SUPERFICIE COSECHADA (ha)	PRODUCCION (Ton)	RENDIMIENTO (Ton/ha)
AGUASCALIENTES	28	28	486	17.3
BAJA CALIFORNIA NORTE	191	130	1972	15.1
BAJA CALIFORNIA SUR	8	6	96	16.0
DISTRITO FEDERAL	4057	4024	211916	52.66
JALISCO	66	54	1274	23.59
MÉXICO	210	191	906	4.74
MICHOACÁN	36	20	304	15.20
MORELOS	225	225	1100	4.88
SAN LUIS POTOSI	376	376	1128	3.00
SONORA	62	62	744	12.00
TAMAULIPAS	228	228	1856	8.14
ZACATECAS	40	36	394	10.94
TOTAL	5678	5428	<u>222288</u>	40.95

Fuente: Dirección General de Información Agropecuaria, Forestal y de Fauna Silvestre de la SARH., 1993.

Actualmente, el cultivo de esta planta se destina a tres formas de consumo: como verdura, fruta y forraje. Sin embargo, a pesar de que su costo de adquisición es accesible, la oferta es mayor que la demanda. Una alternativa a estos problemas, así como a pérdidas poscosecha, posiblemente sea su uso para la extracción de goma a partir del mucílago.



**Tabla 1.10** Precio del nopal (*Opuntia ficus indica*) en México.

ESTADO	PRECIO MEDIO RURAL (\$/TON)	VALOR DE LA PRODUCCION (\$)
AGUASCALIENTES	584	283,240
BAJA CALIFORNIA NORTE	1,182.81	2,332,505
BAJA CALIFORNIA SUR	1,666	159,936
DISTRITO FEDERAL	580	122,911,280
JALISCO	757.26	964,754
MÉXICO	1,229.34	989,616
MICHOACAN	750	228,000
MORELOS	855	940,500
SAN LUIS POTOSI	600	676,800
SONORA	502	373,488
TAMAULIPAS	930	1,726,080
ZACATECAS	881.56	347,334

Fuente: Dirección General de Información Agropecuaria, Forestal y de Fauna Silvestre de la SARH., 1993.

La obtención de esta goma, a partir del mucílago, por medio del uso de disolventes orgánicos y el conocimiento de las propiedades reológicas, microestructurales y funcionales resulta en consecuencia en una contribución al conocimiento y a la determinación de posibles aplicaciones.

El uso de las cactáceas como fuentes de gomas es muy reducido. Comercialmente sólo se conoce el uso de la goma de cholla, la cual se extrae de la planta "*Opuntia fulgida*" y es usada como adhesivo (Saag, et al 1975). Además, esta goma es utilizada como espesante y estabilizador. Sin embargo, las posibilidades de utilización de la goma del mucílago de *Opuntia ficus indica* son prometedoras

dada la similitud que presenta en su estructura química con algunas gomas comerciales (las pectinas y alginatos, por ejemplo).

Actualmente en México, la especie *Opuntia ficus indica* es una especie ampliamente distribuida a partir de la cual se han generado con ella muchos híbridos mundialmente distribuidos. El hecho de que esta planta presente la secreción de un compuesto mucilaginoso constituido en su mayoría por polisacáridos ha enfocado la atención de este trabajo de investigación. El objetivo es obtener productos que puedan utilizarse como substitutos de polímeros o mezclas con ciertos polisacáridos comercialmente importantes.

Normalmente, casi todas las gomas son solubles en agua fría, resultando líquidos mucilaginosos. En base a lo reportado en la literatura científica, el “mucílago” es una designación que se usa para definir ciertas sustancias gelatinosas que se encuentran en algunas plantas naturales (Saag, et al., 1975). El mucílago puede existir como una sustancia intracelular y muchas veces es una reserva del alimento o de agua.

El mucílago ha sido dividido en tres grupos, de acuerdo a sus características químicas (Saag et al., 1975):

- a) Los polisacáridos neutros que contienen uno o más azúcares residuales, unidos a su vez a través de grupos reductores, con la formación de sustancias de alto peso molecular.
- b) Polisacáridos que contienen residuos de ácido urónico, así como otros residuos de azúcares.
- c) Los mucílagos de algas que contienen sales, ésteres y azúcares formadores de moléculas de alto peso molecular. En general, los mucílagos son generalmente hetero polisacáridos, conteniendo una variedad de ácido urónico.

### 1.5.3 ESTRUCTURA QUIMICA LA GOMA DEL MUCÍLAGO DEL NOPAL (*Opuntia ficus indica*)

Los pocos estudios reportados en la literatura sobre la composición química de la *Opuntia ficus indica* coinciden en la presencia de galactosa, arabinosa, ramnosa y xilosa. Además de ácido galacturónico y ácido urónico, aún cuando estén presentes en cantidades pequeñas comparadas con la de las pectinas ( McGarvie-Parolis, 1979; 1981 y Saag et al, 1975). La mayoría de las gomas naturales son polisacáridos complejos aniónicos metálicos (Klose y Glicksman, 1970).

Diversos estudios han reportado que el mucílago de cactáceas es una fibra que contienen moléculas de diferentes azúcares (Trachtenberg, et al., 1981; 1982, McGarvie y Parolis, 1979; 1981). La *Opuntia ficus indica* tiene una estructura fisicoquímica secundaria.

Los azúcares más abundantes de la *Opuntia ficus indica*, según Medina Torres (2000) se reportan en la tabla 1.11.

**Tabla 1.11** Principales azucares del mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica*).

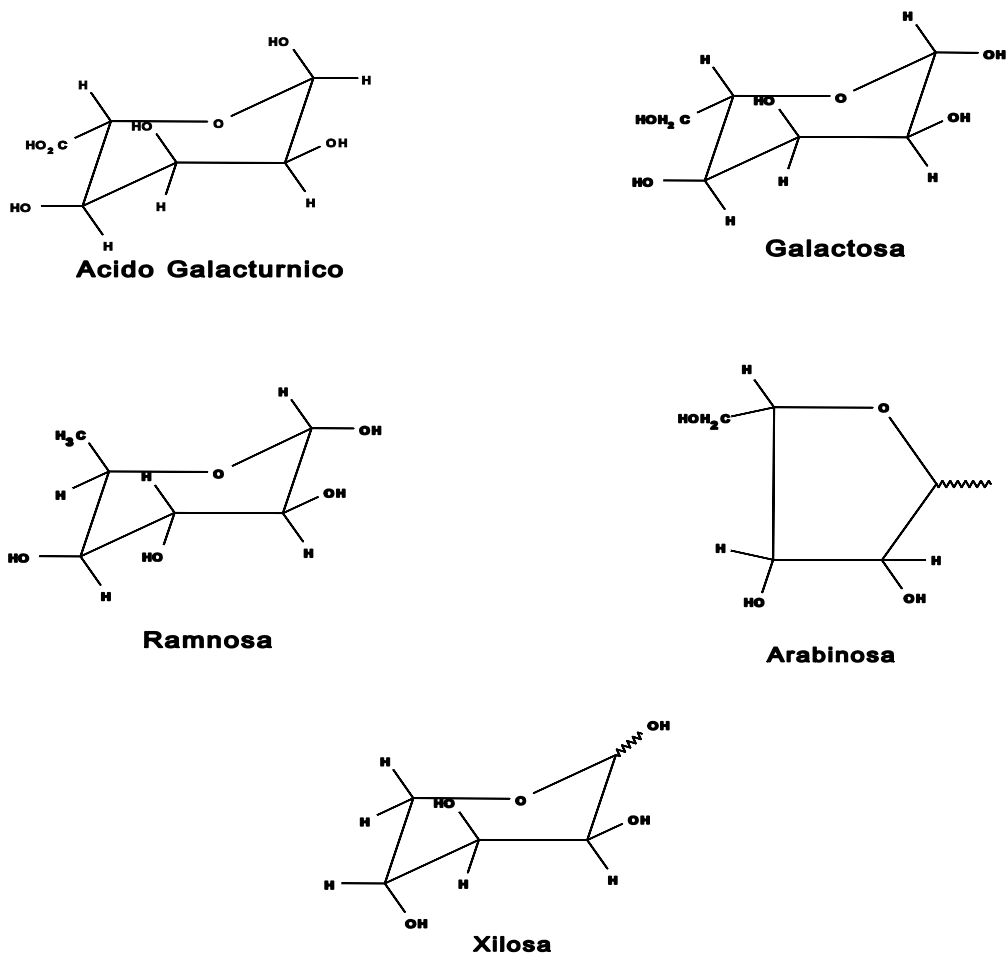
<b>Composición</b>	<b>% MOL</b>
Arabinosa	46.68
Galactosa	17.92
Xilosa	23.45
Ramnosa	6.74
Acido Galacturónico	5.19

Adicionalmente, el mucílago contiene una considerable cantidad de ácido galacturónico, el cual tiende asociarse fuertemente en presencia de iones calcio.

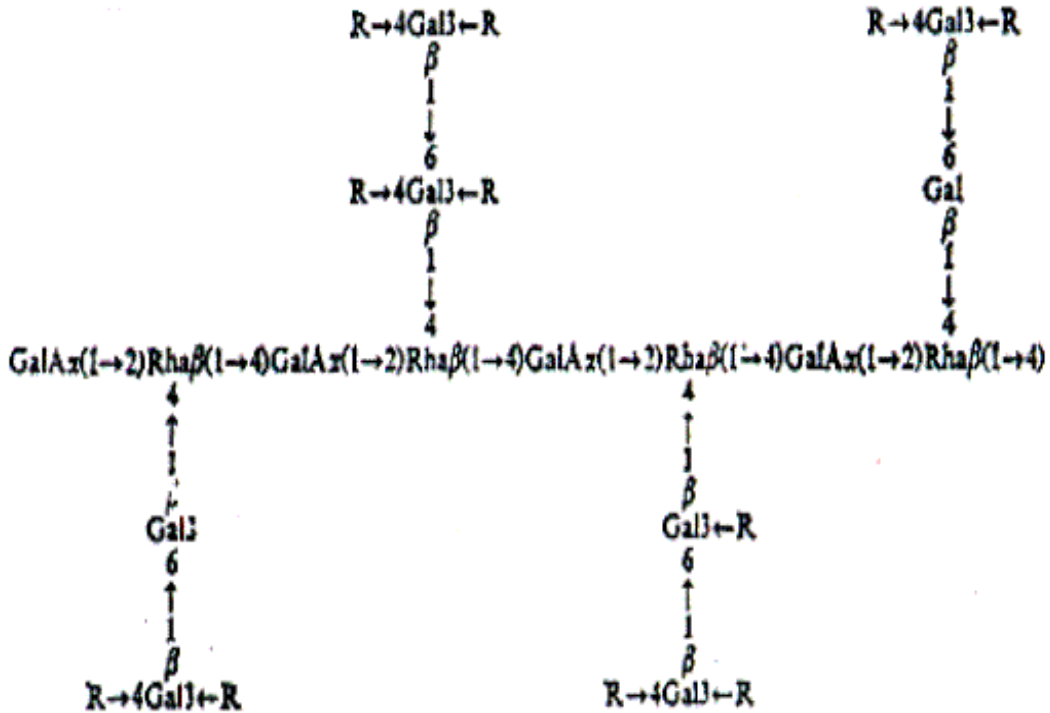
Por otro lado, se ha reportado que la producción de mucílago es una característica de la familia de las cactáceas.

Este es un polisacárido ácido (pH=4.5 a 5.7) que posee una estructura ampliamente ramificada. Las unidades de azúcares del mucílago forman un polisacárido ramificado de ácido galacturónico y ramnosa como unidad central.

Las cadenas laterales tienen a su vez un esqueleto formado de D-galactosa, el cual se encuentra unido a ramnosas en el eje central, y ramificaciones laterales con unidades de arabinosa, xilosa y galactosa (McGarvie et al, 1979 y 1981) su estructura se presenta en las figuras 1.6 y 1.7.



**Figura 1.6** Principales sacáridos presentes en el mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). (Bravo-Hollins,1978 y Mc Gravie-Parolis, 1979; 1981).



**Figura 1.7** Estructura de los polisacáridos que conforman al mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*). (McGarvie-Parolis, 1979; 1981).

La goma del mucílago *Opuntia ficus indica* contiene residuos de D-galactosa, D-xilosa, L-arabinosa, L-ramnosa y D-ácido galacturónico. Además, existe variación en la composición de azúcares, la cual se debe a los cambios estacionales (Mc Garvie y Parolis, 1979; 1981). El mismo estudio indica que el mucílago es esencialmente homogéneo. Los autores citados anteriormente sugieren un centro que contiene ácido galacturónico, ramnosa y galactosa, de los cuales la xilosa y arabinosa están unidas en posiciones periféricas a la cadena lineal.

El mucílago de nopal probablemente consiste de un grupo de estructuras muy similares que difieren principalmente en el peso molecular. Estudios realizados por medio de una oxidación con ácido crómico del polisacárido revelan que 75, 72, 60 y 42 % de la galactosa, xilosa, ramnosa y residuos de arabinosa respectivamente fueron degradados después de 4 hrs. Esto indica que los residuos de ramnosa, galactosa y xilosa están unidos por enlaces β (McGarvie y Parolis, 1979).

Los estudios previos han reportado proporciones equimolares de ramnosa y ácido galacturónico en el mucílago nativo y en el degradado. El incremento de concentraciones de ramnosa y ácido galacturónico aumenta el tiempo de hidrólisis.

Una hidrólisis parcial sugiere la presencia de ramnosa y ácido galacturónico en la capa externa principal del mucílago (McGarvie y Parolis; 1981).

La estructura del mucílago esta constituida principalmente por azúcares neutros y un azúcar ácido.

El pH del medio en el que se encuentra es 4.7. Los estudios existentes son referentes a su estructura química principalmente y hasta el momento no existen estudios reportados en la literatura científica en cuanto a sus propiedades reológicas en condiciones de flujo de cizalla simple u oscilatorio.

#### **1.5.4 PROPIEDADES DE LA GOMA DE MUCILAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*)**

Los primeros trabajos reportados sobre las propiedades funcionales de la goma de *Opuntia ficus indica* son los referentes a Trachtenberg y Mayer, (1982). Estos autores reportaron que el mucílago purificado es una molécula constituida por un heteropolisacárido de alto peso molecular con variación en el contenido de ácido urónico y cuya viscosidad intrínseca en solución acuosa reporta valores en un intervalo de 1500-2000 cm<sup>3</sup>/g. Los autores sugieren que esta molécula es polielectrolítica cargada negativamente.

Trachtenberg et al (1982), observaron que remplazando la solución acuosa por un buffer como disolvente se presentó una reducción en la viscosidad intrínseca, tal vez debida a un efecto electrostático. Además, el incremento del pH en la región ácida causa un incremento en la viscosidad intrínseca, debido a que los grupos carboxilos de la estructura del mucílago, los cuales son formados más fácilmente.

Concluyeron que, la adición de iones Ca<sup>++</sup> previene el incremento de la viscosidad intrínseca en la región ácida (pH<7.0) debida a las ligaduras de los grupos carboxilos, lo que evita su ionización. Por lo anterior, el efecto del pH y iones Ca<sup>++</sup>

afectan las propiedades hidrodinámicas de la molécula de mucílago, se reporta el efecto de la fuerza iónica y del pH observado por Trachtenberg et al., (1982) respecto a la viscosidad intrínseca.

Se ha estudiado el efecto que tiene la temperatura, pH y concentración sobre la viscosidad del la goma de mucílago que tiene función de espesante.

El comportamiento reológico de las soluciones acuosas del mucílago de *Opuntia ficus indica* da medidas de viscosidad que se demuestran un comportamiento no Newtoniano, Las soluciones viscosas del mucílago son poco dependientes de la temperatura y este comportamiento es casi independiente de la concentración del mucílago. Por otra parte, la viscosidad es dependiente en fuerza iónica, de la misma manera que otras gomas típicas (como carrageninas). Mientras que la fuerza iónica aumenta, la viscosidad disminuye. Este último comportamiento es más pronunciado al usar los iones bivalentes.

La dependencia de la viscosidad con el pH también fue observado. Del ácido a las regiones alcalinas, la viscosidad aumenta agudamente. (Medina T.L 2000).

## **1.6 REOLOGÍA EN ALIMENTOS**

Los alimentos, además de ofrecer un olor, un color y un sabor característico, exhiben determinado comportamiento mecánico: Reaccionan de un cierto modo cuando intentamos deformarlos. Pueden ser duros o blandos, gomosos o quebradizos, de textura uniforme o fibrosa, fluir fácilmente o con dificultad, etc. (Burgos G.J. 1977)

Para estimar el comportamiento mecánico de los alimentos existen dos procedimientos:

El primero de ellos es un método sensorial, que consiste en tocar, morder o masticar el alimento y describir las sensaciones. Las apreciaciones sensoriales

dada ampliamente con el individuo que las efectúa, y es necesario sometidas a tratamientos estadísticos.

El segundo grupo de procedimientos de evaluación utiliza métodos físicos; el valor apreciado no depende, del individuo que efectúa la medición ya que se realiza instrumentalmente; estos métodos se consideran como objetivos.

Los resultados, objetivos se expresan en metros, kilogramos y segundos. Al estudio físico del comportamiento mecánico de los materiales se le denomina Reología.

Es decir que la Reología es una rama de la física que puede definirse como la ciencia de la deformación de la materia. La Reología se ocupa preferentemente de la deformación de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, pero con frecuencia trata también la fricción entre sólidos, el flujo de polvos, e incluso la reducción a partículas. (Reiner, M. 1960)

La industria alimentaria utiliza con frecuencia medidas reológicas, sin embargo los productos reales se alejan de los teóricos ideales suministrados por la Reología.

El comportamiento Reológico de los productos reales o alimentos puede expresarse suficientemente bien por medio de diagramas o gráficos de deformación en función de la fuerza de deformación en el tiempo.

Existen cuatro razones fundamentales para justificar el estudio del comportamiento reológico de los cuerpos, o alimentos: (Burgos J. G. 1977)

- a) Contribuye al conocimiento de su estructura, por ejemplo la relación entre el tamaño y forma molecular de las sustancias en disolución y su viscosidad, así como el grado de entrecruzamiento de los polímeros y su elasticidad.
- b) En la industria se efectúan con frecuencia medidas Reológicas sobre las materias primas y los productos en elaboración, que son muy útiles para



el control de los procesos, por ejemplo el control reología de la masa durante la fabricación del pan.

- c) La Reología presta valiosa información para el diseño de maquinas, así como tuberías y bombas que se aducen a las características de los productos con los que van a ser utilizados y se relacionan con el factor de seguridad. Tanto mejor se conozca reología del producto a mover, más eficaces serán los equipos.
  
- d) Las características reológicas influyen de modo considerable en la aceptación del producto, por ejemplo la viscosidad de las bebidas y la dureza de la carne.

### **1.6.1 COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS ALIMENTOS SÓLIDOS**

El análisis y la cuantificación del comportamiento reológico de los alimentos tiene gran importancia, tecnológica, económica y comercial, ya que los efectos del transporte y de la manipulación en la integridad física del alimento, su comportamiento durante los procesos de elaboración y la calidad de la textura del producto acabado dependen, en gran parte, de su respuesta ante la aplicación de fuerzas externas.

La utilización de la reología en el análisis y la caracterización del comportamiento de los alimentos se inició hace solo unos 25 años. Las causas principales de esta lenta incorporación fueron :La gran variedad y complejidad de la composición y estructura de los alimentos, la dificultad de adaptar y de utilizar los modelos reológicos, para explicar los comportamientos observados en los materiales, y por último, la falta de instrumentación adecuada.

El principio básico de la reología de los sólidos (Textura) es la ley de Hooke, que define el sólido ideal como aquel que se deforma instantáneamente y de forma proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada y se recupera también instantáneamente al retirar la fuerza.

El sólido elástico ideal es isotrópico y homogéneo, la tensión o fuerza aplicada se reparte uniformemente entre los enlaces interatómicos y la relación entre esta y la deformación producida se mide según la ley de Hooke, por el valor del módulo de elasticidad ( $\varepsilon$ ).

No se conoce ningún alimento que se comporte como sólido ideal. Para el caso de los sistemas cárnicos muestran un comportamiento viscoelástico en su respuesta mecánica, es decir que además de un comportamiento Hookeano, manifiesta la presencia de un componente viscoso. Debido a este último elemento, la deformación del sólido viscoelástico, no es instantánea se produce en un tiempo finito y medible.

De esta manera, tanto la ecuación 1.6.1 de deformación de Hencky y la ecuación 1.6.2 de esfuerzo corregido fueron empleadas a partir de los datos de deformación y esfuerzo ingenieril, por medio de las ecuaciones (Tang et al., 1996):

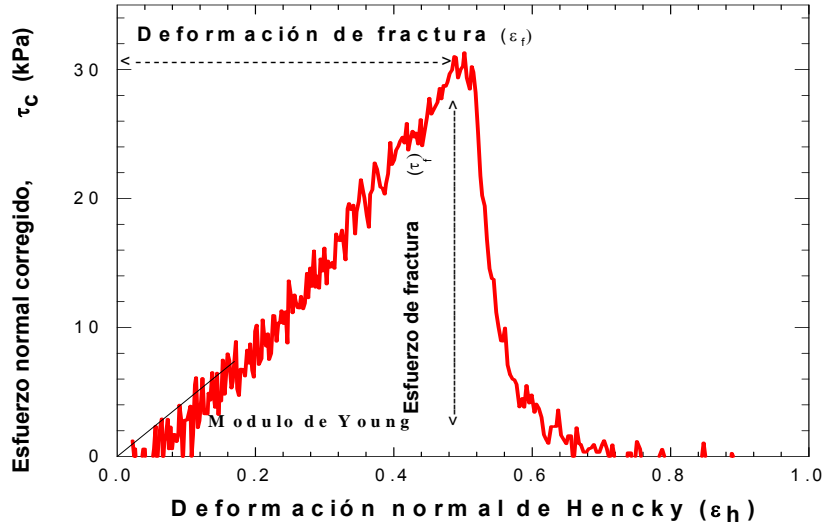
**Ecuación 1.6.1**

$$\varepsilon_h = -\ln(1 - \varepsilon_{eng})$$

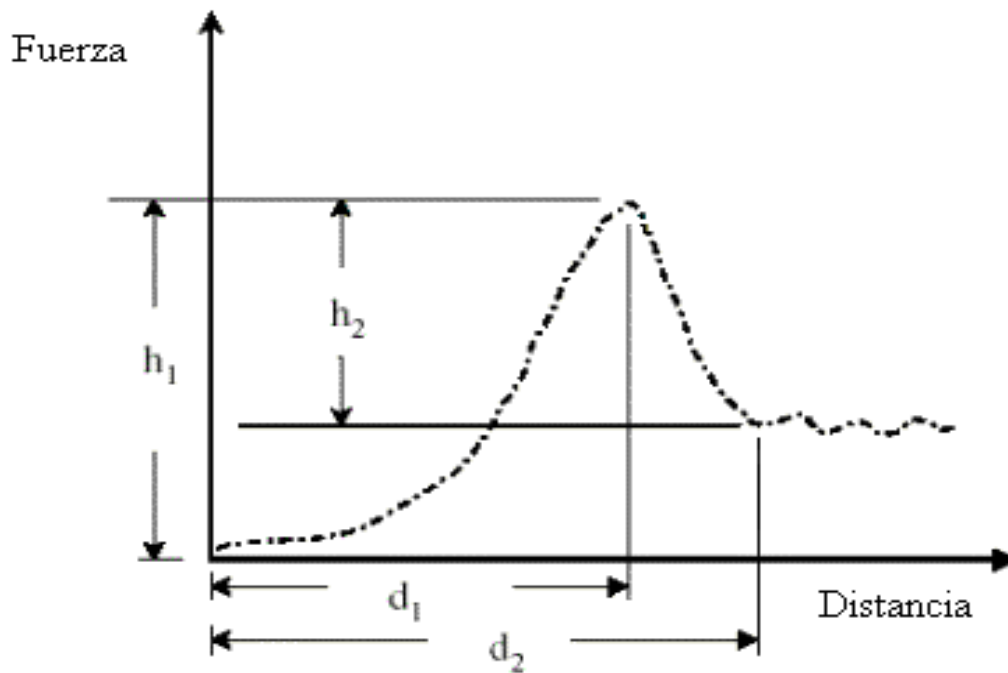
**Ecuación 1.6.2**

$$\sigma_c = \sigma_{eng}(1 - \varepsilon_{eng})$$

Donde, la deformación al punto de fractura [ $\varepsilon_h$ ] y el stress [ $\sigma_c$ ] fueron determinados a partir de las curvas de compresión, tal como se ilustra en la figura 1.8 y 1.9. Se sabe que, a un mayor porcentaje de deformación implica tener geles bastante deformables, y a un mayor esfuerzo de fractura contar con geles más rígidos. Por lo que, la firmeza del gel fue caracterizada a través del modulo de Young estimado este en la porción lineal de la curva corregida de esfuerzo y deformación de Hencky (ver figura 1.9).



**Figura 1.8** Determinación de el modulo de Young, esfuerzo y deformación de fractura en compresiones uniaxiales (Tang et al., 1996).



**Figura 1.9** Respuesta mecánica de fuerza en función de la deformación en pruebas de compresión con sensores cilíndricos (fuerza de fractura =  $h_1$ ; cohesividad =  $d_1$ ; rigidez =  $h_1/d_1$ ) (Damasio et al., 1990).

### **1.6.2 PROPIEDADES MECÁNICAS**

Las interacciones entre los ingredientes de un sistema alimenticio, casi siempre se reflejan en propiedades físicas como untado, estabilidad frente a la separación de fases, comportamiento al fluir o agitarse, cubierta y adhesión a superficies, respuesta al masticado y deglución y resistencia a la aplicación de fuerzas como las aplicadas al comprimir. Estas características físicas son conocidas como propiedades de textura (Tung, y Paulson, 1995).

### **1.6.3 GENERALIDADES DE PRUEBAS MECANICAS DE TEXTURA**

Las propiedades de textura de un alimento son definidas por Bourne (1982) como “aquel grupo de características físicas que surgen de los elementos estructurales de los alimentos. Estas son percibidas por medio del sentido del tacto, se relacionan a la deformación-desintegración y flujo del alimento bajo una fuerza aplicada y son medidas objetivamente en función de la masa, el tiempo y la distancia” (Tung, y Paulson, 1995).

Debido a que la textura consiste de un número diferente de sensaciones físicas es preferible hablar de propiedades de textura, lo cual sugiere un grupo de propiedades relacionadas, más que la palabra “textura”, la cual sugiere un sólo parámetro. Muller et al. (1973) propusieron que el término “textura” debe ser descartado porque es confuso. Según el autor la palabra textura sugiere tanto una propiedad física exacta como una propiedad percibida. Este autor propuso dos términos que reemplazarían a la palabra textura:

- a) Reología, una rama de las ciencias físicas que describe las propiedades físicas del alimento.
- b) Haptaesthesia (de dos palabras griegas que significan sensación y tacto), una rama de la psicología que trata de la percepción del comportamiento mecánico de los materiales.

#### **1.6.4 FUNDAMENTOS EMPLEADOS EN PRUEBAS DE TEXTURA**

El sabor, la apariencia y textura son los tres principales atributos para la aceptación de un alimento (Bourne, 1982). En este contexto la textura de los alimentos es uno de los atributos primarios que conforman su calidad sensorial. La textura, es definida como el conjunto de propiedades reológicas y de estructura (geométricas y de superficie) de un producto, perceptible por los mecano-receptores, los receptores táctiles y en ciertos casos por los visuales y los aditivos (Bourne, 1982; Costell et al; 1992).

Los alimentos exhiben un amplio rango de textura y propiedades reológicas, por lo que se emplean una gran variedad de métodos para estimar estas propiedades. Es necesario clasificarlos en grupos para establecer el sistema de medición adecuado.

Los métodos de medición de textura han sido divididos en tres clases (Szczesniak et al., 1963):

##### **a) MÉTODOS FUNDAMENTALES**

En estos métodos se estiman las propiedades que son útiles para cálculos en ingeniería, por ejemplo; elasticidad, radio de Poisson, y varios módulos tales como: Young, Rigidez y Compresión.

##### **b) MÉTODOS EMPÍRICOS**

En estos métodos se estiman las variables generalmente no muy bien definidas, pero que están bien relacionadas con algunos de los atributos mecánicos, tales como: punción, rigidez y extrusión. En el pasado, la mayoría de los atributos de textura de alimentos fueron estimados por este tipo de métodos.

### **c) MÉTODOS IMITATIVOS**

En estos métodos, se intenta imitar con instrumentos mecánicos las condiciones de masticación del alimento en la boca. El principal de estos métodos es el conocido como Análisis de Perfil de Textura (TPA).

En el caso de la textura las variables físicas son sólo estímulos parcialmente responsables de la sensación. Además, aún considerando sólo la parte de la sensación directa relacionada con las propiedades mecánicas, esta se puede modificar por efecto de interacción con otros atributos sensoriales (sabor, color) y por determinadas con-notaciones hedónicas que son difíciles de eliminar totalmente. En las medidas de textura uno de los principales puntos es determinar cuando y como se fractura el alimento (Bourne; 1978; 1982).

Las siguientes definiciones fueron desarrolladas por la Organización Internacional de Estandarización, Standard 549/3, (1979):

- a) Consistencia (Consistency). “Todas las sensaciones resultantes de la simulación de los receptores mecánicos y táctiles, especialmente en la región de la boca, y que van variando con la textura del producto”.
  
- b) Duro (Hard, adjetivo). “Como una característica de textura describe un producto que muestra substancial resistencia a la deformación o al rompimiento. El sustantivo correspondiente es dureza (hardness).”
  
- c) Suave (Soft, adjetivo). “Como una característica de textura describe un producto, el cual muestra poca resistencia a la deformación. El sustantivo correspondiente es suavidad (Softness)”.
  
- d) Blando (Tender, adjetivo). “Como una característica de textura describe un producto, el cual, durante la masticación, muestra una pequeña resistencia al rompimiento. El pronombre correspondiente es tenderness”.

- e) Firme (Firm, adjetivo). “Como una característica de textura describe un producto, el cual, durante la masticación, muestra resistencia moderada al rompimiento. El pronombre correspondiente es firmeza (firmness)”.

### **1.6.5 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Este ensayo es uno de los más comunes y de los más utilizados para evaluar la textura de los alimentos. En el se comprime una muestra, preferentemente de unas dimensiones prefijadas, hasta su rotura o hasta determinada deformación. La primera información se puede obtener de la forma de la curva.

La que se registra al comprimir los alimentos duros, que suelen romperse durante el ensayo, tiene un pico abrupto que marca el momento de la rotura, mientras que la que se registra para alimentos blandos, que se comprimen sin rotura aparentemente, tienen una forma de curva ascendente continúa hasta que finaliza el ensayo. Cuando la curva es del primer tipo y tiene un pico definido, se pueden obtener por lo menos dos datos: fuerza de ruptura máxima y modulo de deformación, que es la pendiente lineal de la curva ascendente.

### **1.6.6 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FRACTURA**

Este ensayo es también uno de los mas comunes y de los mas utilizados para evaluar la textura de los alimentos.

En este tipo de ensayos son utilizados punzones cilíndricos, que nos proporcionan datos de la dureza y valores de cohesividad, rigidez y elasticidad. Cuando se usa una pieza cónica, la curva obtenida es mas simple y solo se suele registrar la fuerza necesaria para que el cono penetre una distancia determinada, aunque se han propuesto otras variables como la relación entre la fuerza a una distancia de la penetración y el cuadrado de dicha distancia, esta relación se considera un mejor índice de la dureza que el simple valor de la fuerza registrada (Costell Elvira 1992).

## 1.6.7 FUERZA Y DEFORMACIÓN

a) Fuerza, esfuerzo y tensión.

Una fuerza ( $F$ ) se define en términos de su capacidad de producir una aceleración, pero también es un agente capaz de deformar un cuerpo. La fuerza o “carga” con la que presiono hacia abajo es la misma, pero el área sobre la que la presión se aplica es distinta es pues considerar la relación Fuerza / área, cociente al que se le denomina esfuerzo o tracción. Se mide en  $N/cm^2$ .

La tensión se puede explicar mediante el uso de un cilindro, de un material sólido, que es estirado en la dirección de su eje por una fuerza que tracciona, si se corta transversalmente al eje, se separará en dos partes y para que las superficies de corte vuelvan a tener contacto será preciso aplicar un esfuerzo igual al original. El cilindro se encontró en tensión o compresión, esta en un estado de tensión, que en este caso era uniforme en toda su masa. Al alargarse, el cilindro se contrae lateralmente; se estrecha y cambia de forma.

El estado de tensión es un fenómeno tridimensional; su descripción más simple es la anterior, pero puede demostrarse la existencia de componentes de tensión en todas las direcciones. Eligiendo cuidadosamente las condiciones experimentadas (Fuerza aplicada, geometría de las muestras, deformaciones pequeñas) se puede simplificar. (Burgos J. G. 1977)

b) Deformación y deformación relativa.

Los materiales se deforman cuando sobre ellos actúa una fuerza, cuando se les somete a una tensión; ejemplo típico de deformación son el alargamiento y la compresión. Más útil resulta considerar la deformación relativa o deformación unitaria que se define como el cambio de dimensión experimentada por cada unidad de ésta. Estirando un alambre; si su longitud original  $L$  aumenta en  $l$ , la deformación relativa será  $l/L$  y valdrá lo mismo en cualquier trozo del alambre.



A cada tensión o esfuerzo aplicado le corresponde una deformación relativa, cuya magnitud depende del material considerado. La goma ofrece grandes deformaciones relativas frente a pequeñas tensiones.

Cuando la deformación relativa es pequeña, la tensión es numéricamente igual al producto de la deformación por una constante, es decir que la deformación relativa es proporcional a la tensión. La constante de proporcionalidad es el módulo de elasticidad.

Tensión =deformación relativa x módulo de elasticidad

Esta ecuación es típica de los sólidos elásticos; es una ecuación de estado (Las ecuaciones reológicas de estado constituyen las relaciones matemáticas la deformación relativa y la tensión o esfuerzo).

En esta ecuación no interviene el término tiempo, la deformación no es instantánea.

### **1.6.8 MODULO DE YOUNG**

La deformación longitudinal relativa es la causada por una tensión de tracción o compresión. Si se alarga la longitud de un valor, L a otro L+l , el alargamiento relativo, o unitario, valdrá l/L. Al modulo obtenido en este tipo de experimentos se le denomina módulo de Young, en la siguiente ecuación describe dicho comportamiento donde:

$$\tau_n = \varepsilon + \gamma$$

$\tau_n$  =La tensión, o esfuerzo de tracción o compresión

$\varepsilon$  = Módulo de Young, Característica de la estructura del material

$\gamma$  =La deformación longitudinal relativa.

A tensión constante, cuanto menor sea el modulo de Young mayor será la deformación elástica, y por consiguiente tanto más fácil será la deformación elástica del material.

### **1.6.9 MODULO DE RIGIDEZ (G)**

El deslizamiento o cizalladura constituye otro experimento en el que se simplifica la tensión tridimensional. Es la deformación causada por una fuerza tangencial cuando sólo produce pequeñas deformaciones; la deformación relativa se expresa adecuadamente como un ángulo.

Al modulo, en este tipo de deformación, se le llama módulo de rigidez, tensión o cizalladura, G.

La ecuación representativa es:

$$\tau = \alpha \times G$$

Donde  $\tau$  es la tensión, o presión tangencial o de cizalladura y  $\alpha$  el ángulo de deformación.

El modulo de rigidez es dos o tres veces inferior al modulo de Young. Para definir un cuerpo elástico, si es isótropo, basta con el modulo de Young y el de rigidez; es frecuente, sin embargo, que se midan otras dos constantes: el coeficiente de Poison y el modulo de Compresión. (Burgos J. G. 1977)

### **1.6.10 EVALUACION DE PRUEBAS DE TEXTURA POR DIVERSOS METODOS**

Para evaluar la textura existen diversos métodos, los cuales pueden ser clasificados sobre la base del material que se prueba, o bien sobre la base de la geometría del instrumento de medición. En la Tabla 1.12, se muestran los tipos de pruebas que son utilizadas actualmente para medir la textura.

**Tabla 1.12** Tipos de pruebas empleadas para medir las propiedades de textura (Bourne, 1982; Costell, 1992).

<b>Objetivas</b>		<b>Subjetivas</b>	
<b>Directas</b>	<b>Indirectas</b>	<b>Orales</b>	<b>No orales</b>
Fundamentales	Ópticas	Mecánicas	Dedos
Empíricas	Químicas	Geométricas	Mano
Imitativas	Acústicas	<b>Químicas</b>	Otros

Las pruebas objetivas pueden dividirse en directas e indirectas: Las directas son aquellas en las que se mide una propiedad real de los materiales y en las indirectas se miden propiedades físicas que se encuentran bien correlacionadas con una o más propiedades de textura.

Las pruebas subjetivas pueden clasificarse como orales (se llevan a cabo en la boca) y como no-orales (se utiliza cualquier otra parte del cuerpo que no es la boca para medir las propiedades de textura). Las pruebas subjetivas se encuentran dentro del campo de estudio de análisis sensorial.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental se realizó en dos fases: En la primera fase se realizó la extracción de la goma de nopal (*Opuntia ficus indica*) tal como se ilustra en el diagrama 2.1 que se basa en la metodología reportada por McGarvie y Parolis (1979) y Medina et al, (2000).

El nopal (*Opuntia ficus indica*) de estudio fue recolectado de una misma época de cosecha y de la Delegación Política de Milpa Alta, ubicado al sur del Distrito Federal.

Los cladodios del nopal (*Opuntia ficus indica*) de un mismo lote fueron macerados y la pulpa que contiene la goma de mucílago se centrifugó en frío (5 °C) a 10000 rpm., y finalmente se decantó para separar los restos celulares del sobrenadante.

Posteriormente, el sobrenadante recolectado se precipitó con acetona en una relación 1:2 mucílago: acetona (peso/peso), esto difiere de lo reportado en la literatura, donde se utilizó una relación 1:5. El precipitado se separó por decantación y se lavó con isopropanol, secando la goma obtenida en un desecador por 48 h.

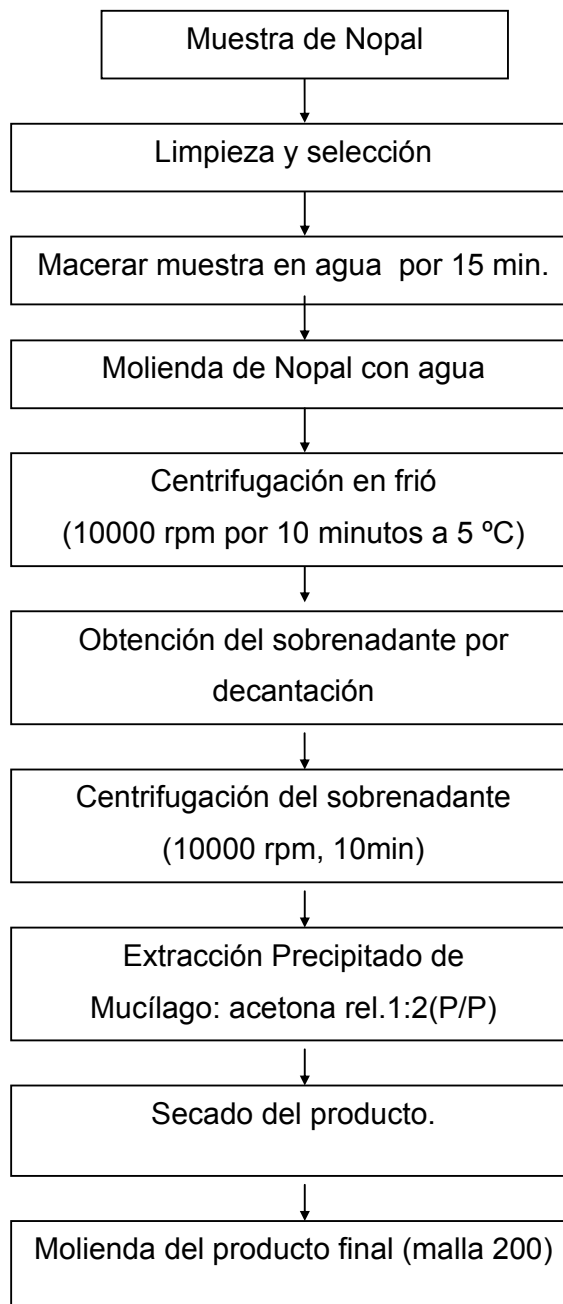
La goma obtenida de color blanco opaco, se maceró y redujo tamaño a malla 200, con una humedad 7.84%, cenizas totales 1.31%, y un rendimiento de obtención de goma 1.22%.

En la segunda fase de este, se realizó un estudio de la respuesta reológica de los geles cárnicos con las diferentes mezclas de hidrocoloides sustituyendo el contenido proteico y la grasa, tal como se muestra en las tablas 2.1 y 2.2 a diferentes condiciones, a fin de evaluar el efecto de su respuesta mecánica

mediante pruebas de compresión uniaxial en un texturómetro MTS Sintech 1/S universal machine (MTS, USA).

El diseño experimental (causa y efecto) se realizó para analizar el efecto que tiene cada variable en el gel cárnico resultante entre las diferentes mezclas de hidrocoloides.

**Diagrama 2.1** Extracción del mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica*).



Fuente: Medina et al, (2000)

## 2.2 PREPARACION DE MUESTRAS

Para la preparación de los geles cárnicos se realizaron mezclas *kappa*-carragenina (k-C) (Germantown, Co. FMC) de un mismo lote y de goma de nopal (*Ofi*). La salmuera de *Ofi* / *k*-carragenina, se prepararon manteniendo constante la concentración total del polisacárido en 1 % y 2% (peso/peso) y variando la proporción de cada polisacárido en la mezcla dentro del gel cárnico, tal como se muestra en la Tabla 2.1.

En las mezclas con *Ofi* / *k*-carragenina se les adicionó cloruro de sodio (NaCl) con diferente concentración del 0.5%, 2% y 4%.

**Tabla 2.1** Proporciones de polisacáridos, en mezclas de los geles compuestos con *k*-carragenina y goma de nopal (*Ofi*).

<b>MEZCLA</b>	<b>k-Carragenina</b>	<b><i>Opuntia ficus indica</i> (<i>Ofi</i>)</b>
k-C/ <i>Ofi</i> (100/0)	1.0	0.0
k-C/ <i>Ofi</i> (80/20)	0.8	0.2
k-C/ <i>Ofi</i> (70/30)	0.7	0.3
k-C/ <i>Ofi</i> (50/50)	0.5	0.5

Por otro lado, para la preparación de geles cárnicos, con la adición de *kappa*-carragenina (k-C) y almidón comercial (ALMEX Almidones Mexicanos S.A.) con un 17% de amilosa se realizó una salmuera manteniendo constante la concentración total del 1 % y 2 % (peso/peso) de los polisacáridos en la mezcla, tal como se muestra en la Tabla 2.2.

En las mezclas con Almidón / *k*-carragenina se les adicionó cloruro de sodio (NaCl) con diferente concentración de 0.5%, 2% y 4%.

**Tabla 2.2** Proporciones de polisacáridos, en mezclas de los geles compuestos con *k*-carragenina y almidón (17% de amilosa).

<b>MEZCLA</b>	<b>k-Carragenina</b>	<b>Almidón)</b>
k-C/Almidón (100/0)	1.0	0.0
k-C/ Almidón (80/20)	0.8	0.2
k-C/ Almidón (70/30)	0.7	0.3
k-C/ Almidón (50/50)	0.5	0.5

### **2.2.1 PREPARACION DEL GEL CARNICO CON LAS MEZCLAS DE HIDROCOLOIDES**

El proceso de elaboración de producto cárnico se realizó conforme a la formulación y proceso que se muestra en la tabla 2.3 y el diagrama 2.2.

Se realizó en dos fases, en la primera se prepara una salmuera en un vaso de precipitados de 500 ml con agitación a 500 rpm con temperatura controlada a 45 °C. Se disuelve el fosfato con el 50% del agua, se agregó NaCl, nitrito de sodio y dextrosa y por último se agregó el ingrediente funcional manteniendo la temperatura a 45°C.

La segunda fase contiene la carne de res y cerdo, agua en forma de hielo (el 50% de la formulación) y grasa, que al mezclarse es encapsulada por la proteína formando una emulsión (Nieto et al. 1999), se mezclaron las dos fases durante 5 min. a 800 rpm en un mezclador automático (LIGHTNIN a unit of general SIGNAL) con propelas de paleta (SIGNAL CS).

Finalmente, se embutió el gel cárnico con una embutidora mecánica en fundas de celofán transparentes, de calibre ancho-plano 2 cm. y se atan con hilo cáñamo de longitud 10 cm.

Se cocieron en un baño automático (POLYSTANT coleparmer temperature circulator constant) con temperatura controlada a 72°C y 30 min., se dejó

reposar en refrigeración por un día después de su cocimiento para finalmente realizar las pruebas de textura en los geles cárnicos resultantes.

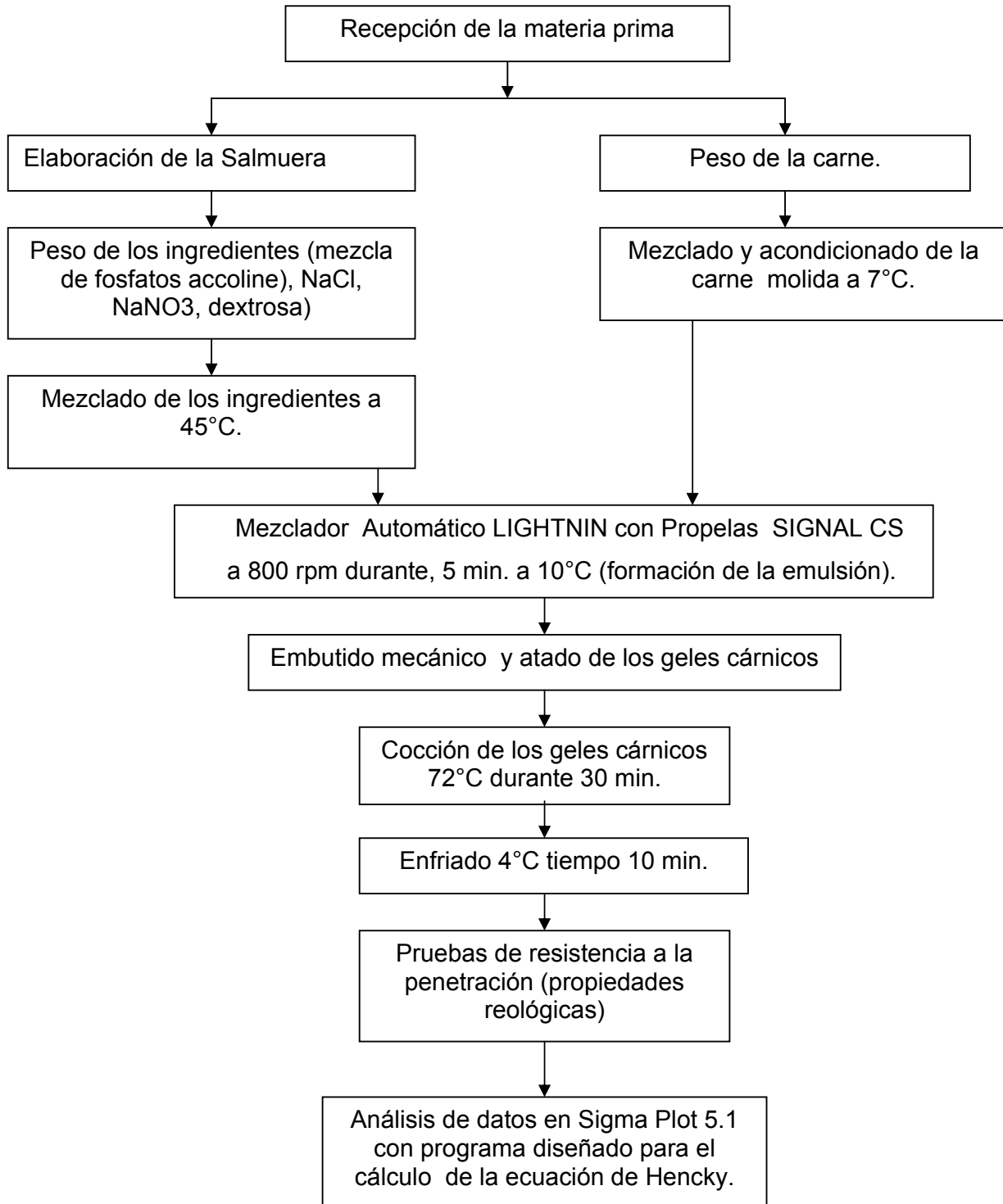
**Tabla 2.3** Formulación del gel cárnico tipo Frankfurter.

Ingrediente	Porcentaje	Función aditivos
Carne magra de res (20) Carne de cerdo (60) Lardo (20)	45%	Forma parte de la emulsión.
Agua	41.5%	
NaNO <sub>3</sub>	150 ppm	En embutidos produce la fijación del color rojo, formando la nitroso hemoglobina de la carne curada. Siendo por demás importante en el control de la germinación de las esporas del <i>Cl. botulinum</i> , a las cuales inhibe. Y es activo contra anaerobios, inhibiendo al sistema de deshidrogenasas, (enzimas con SH).
NaCl	2%	Aumenta la capacidad de retención de agua y favorece la emulsificación de ingredientes.
Fosfatos (Accoline)	0.5%	Favorecen la absorción de agua, emulsifican la grasa y disminuyen la pérdida de proteínas en la cocción.
Dextrosa	11%	Aditivo adicional, no interviene en las propiedades funcionales.
Ingrediente funcional (mezcla de hidrocoloides) *	-----	Se utilizó en diferentes concentraciones (1% y 2%) y proporciones. Imparte propiedades viscoelásticas
Total	100%	

\*Ingrediente funcional: *kappa*-Carragenina grado comercial, almidón 17 % amilosa y goma de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*).



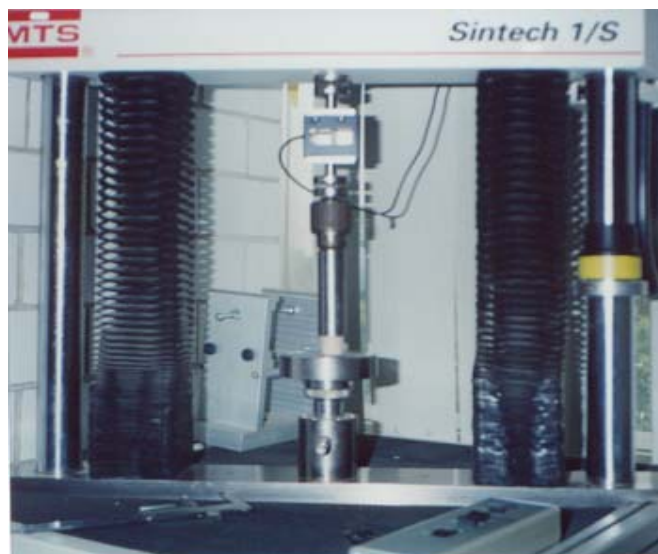
**Diagrama 2.2** Proceso de elaboración de gel cárnico y su análisis en pruebas de textura.



### 2.3 PRUEBAS DE COMPRESION UNIAxIAL EN GELES CARNICOS.

Para las pruebas de compresión uniaxial. Se utilizó un texturómetro MTS Sintech 1/S (MTS, USA) mostrado en la figura 2.1 con una celda de carga de 100 N, equipado con un cilindro de prueba de diámetro 2.9 cm para lo cual se emplea un punzón cilíndrico de punta plana, y a una velocidad de compresión de 25 mm/min (Daget, N. and Coller, S 1984), con un porcentaje de compresión máximo de un 80% respecto a su tamaño inicial del gel. El análisis de las muestras de geles cárnicos (embutidos) se hizo cortando la salchicha en forma de cilindros de 2 cm de diámetro por 2 cm de altura. Las pruebas se realizaron por 10 repeticiones debido a la heterogeneidad de los geles y hasta obtener una reproducibilidad de resultados en las curvas de flujo con una desviación estándar  $\pm 3.5$ . y un coeficiente de variación de  $\leq 2.5$ .

De los resultados de las curvas de fuerza-distancia (curvas de flujo) se analizó la evolución de los parámetros de fuerza de ruptura, deformación a la ruptura y módulo de Young (mediante un programa en lenguaje Basic, Medina et al., 2003). Para lo cual, se emplearon las ecuaciones 1.6.1 de deformación de Hencky [ $\epsilon_h$ ] y la de esfuerzo corregido 1.6.2 [ $\sigma_c$ ] (Tang et al., 1996), a fin de estimar las propiedades reales del gel cárnico resultante con la incorporación de polisacáridos en sustitución de proteína y grasa.



**Figura 2.1** Equipo de compresión un Texturómetro Sintech 1/s.

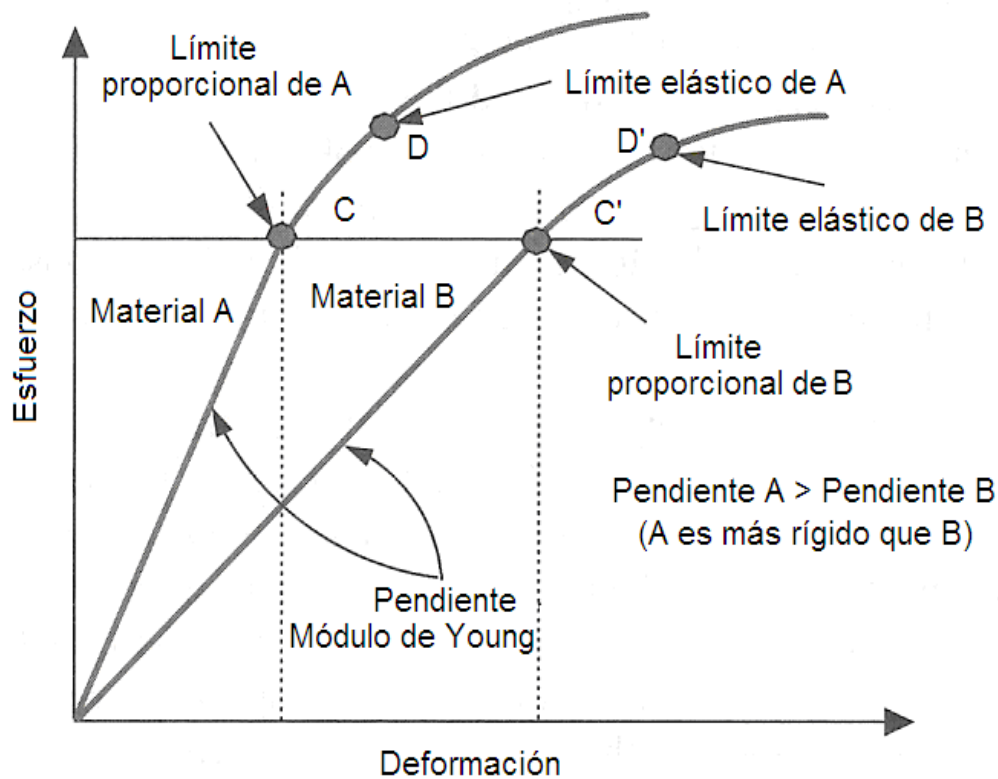
**Ecuación 1.6.1**

$$\varepsilon_h = -\ln(1 - \varepsilon_{eng})$$

**Ecuación 1.6.2**

$$\sigma_c = \sigma_{eng}(1 - \varepsilon_{eng})$$

Cabe resaltar que, un mayor porcentaje de deformación implica tener geles bastante deformables, y un mayor esfuerzo de fractura se cuenta con geles más rígidos tal como se ilustra en la figura 2.2.



**Figura 2.2** Respuesta mecánica de esfuerzo en función de la deformación en pruebas de compresión.

Por lo que la firmeza del gel es caracterizada a través del módulo de Young, estimado este en la porción lineal de la curva corregida de esfuerzo y deformación de Hencky.

En este tipo de pruebas reológicas de sólidos, se requiere conocer la forma y tamaño de la muestra, y ésta se colocó entre dos platos paralelos en el texturómetro. El plato superior (cabezal) se mueve hacia abajo a una velocidad constante, registrando la fuerza de compresión en función del tiempo, posteriormente estos resultados son convertidos a valores de esfuerzo deformación (deformación de Hencky) para obtener parámetros reológicos fundamentales (por ejemplo, módulo de Young, esfuerzo a la fractura y deformación, entre otros) (Medina et al., 2003).

Los resultados son presentados como deformación de Henky en función de esfuerzo corregido. Para el caso de estudio la deformación más utilizada es la deformación verdadera, definida por Hencky (Medina et al., 2003). De acuerdo con Hencky, la deformación verdadera ( $\epsilon_H$ ) para pruebas de compresión está dada por la expresión logarítmica adimensional que relaciona el cambio de altura en cada instante, y ( $\Delta H$ ) con la altura del espécimen en ese instante t (H) dada por la ecuación 2.3.1:

**Ecuación 2.3.1**

$$\epsilon_H = \int_{H_0}^H \frac{dH}{H} = \ln H - \ln H_0 = \ln \frac{H}{H_0}$$

Donde,  $\epsilon_H$  = Deformación de Hencky (-), H= Altura en el Instante t(m),  $H_0$  = Altura inicial (m). Para el uso de la deformación de Hencky es conveniente considerar que el volumen de la muestra es constante.

Cabe mencionar que, dentro de los esfuerzos normales, existen distinciones en función del área transversal en donde éste se aplique. De esta manera, el área de la sección transversal de la prueba cambia constantemente durante la deformación, el esfuerzo ingenieril no representa precisamente el estado de deformación del material, por lo tanto para calcular el esfuerzo basándose en el área de sección transversal actual, se utiliza el esfuerzo verdadero.

El esfuerzo verdadero, relaciona la fuerza aplicada en el tiempo actual sobre el área transversal en el tiempo (t), dada por la ecuación 2.3.2:

**Ecuación 2.3.2**

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_T}$$

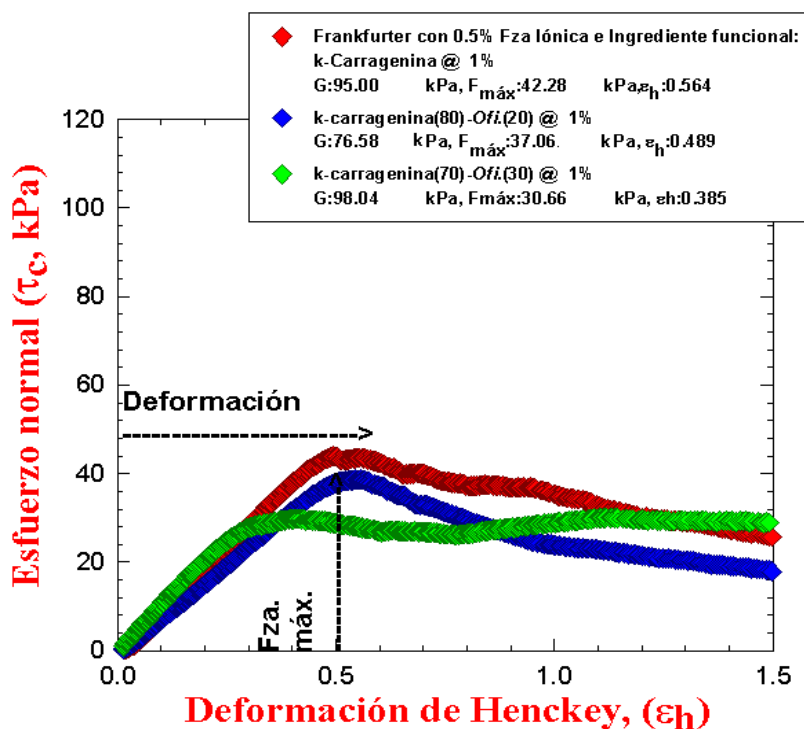
Donde,  $\sigma_T$ =Esfuerzo verdadero (Pa),  $F_T$ = Fuerza en el tiempo actual (N),  $A_T$ = Área transversal en el tiempo actual (m<sup>2</sup>).

Después de definir esfuerzo y deformación, nos permite visualizar como el esfuerzo y la deformación son mejores parámetros para evaluar y clasificar la respuesta mecánica de este tipo de sistemas de geles cárnicos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de compresión en geles cárnicos se presentan en forma de curvas de flujo, siguiendo la evolución de deformación normal de Hencky  $[\epsilon_h]$  y la de esfuerzo corregido  $[\sigma_f]$ , a fin de estimar las propiedades mecánicas del gel, en función de las variables: concentración de iones presentes, el porcentaje de sustitución de cada hidrocoloide, efecto de la sinéresis exhibida por el gel, y el envejecimiento del gel cárnico.

En la figura 3.1 se muestra una curva típica de flujo en pruebas de compresión para un embutido cárnico (salchicha Frankfurter), el cual se compara con la respuesta mecánica de la incorporación de diferentes relaciones de hidrocoloides en el embutido cárnico formado.



**Figura 3.1** Respuesta mecánica de esfuerzo en función de la deformación en pruebas de compresión en geles cárnicos a una concentración de hidrocoloide del 1% y una concentración de iones de 0.5%.

### 3.1. EFECTO DE LA CONCENTRACION DE SALES (NaCl)

#### 3.1.1 En sistemas cárnicos con *kappa* Carragenina

En la tabla 3.1, se reportan los atributos de textura de las curvas de flujo en función de la concentración de iones (0.5%, 2% y 4%) y a una concentración de 1% de *k*-carragenina sola. Los resultados presentan una dependencia de la concentración de iones, donde a menor concentración de iones, el gel es más frágil con un valor de deformación del 0.56, y a medida que se elaboran geles con mayor concentración de iones, el gel se vuelve más deformable con un valor de 0.81, además, el módulo de Young máximo (95 kPa) observado en aquellos embutidos con menor concentración de iones (0.5%).

**Tabla 3.1** Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de *k*-carragenina al 1 % con diferentes concentraciones de iones.

Relación de los componentes en los geles cárnicos.	Deformación $\epsilon_f$	Esfuerzo de fractura $\sigma_f$ (kPa)	Modulo G (kPa)
<i>k</i> -carragenina I= 4%	<u>0.81</u>	50.19	76.82
<i>k</i> -carragenina I= 2%	0.64	42.58	72.50
<i>k</i> -carragenina I= 0.5%	<u>0.56</u>	42.28	<u>95.00</u>

Tal como se reporta en la literatura (Tang et al., 1996; Medina et al 2003) para otros geles, a una mayor deformación de fractura el gel es más maleable, y por otro lado, a un gran esfuerzo de fractura el gel es más rígido.

Como resultado del estudio se observa, que con las concentraciones de sales de sodio a 1% y 2% del ingrediente funcional los geles son más rígidos (171.61 kPa) y más frágiles (deformación 0.65) con 0.5% concentración de sales de cloruro de sodio (ver tabla 3.1 y 3.2).

**Tabla 3.2** Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de k-carragenina al 2% con diferentes concentraciones de iones.

Relación de los componentes en los geles cárnicos.	Deformación Ef	Esfuerzo de fractura $\sigma_f$ (kPa)	Modulo G (kPa)
2% k-carragenina, I= 4%	<u>0.87</u>	38.81	<u>76.08</u>
2% k-carragenina, I= 2%	0.72	42.31	86.05
2% k- carragenina, I= 0.5%	<u>0.65</u>	104.05	<u>171.61</u>

### 3.1.2 En sistemas cárnicos de *kappa* carragenina con goma de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*)

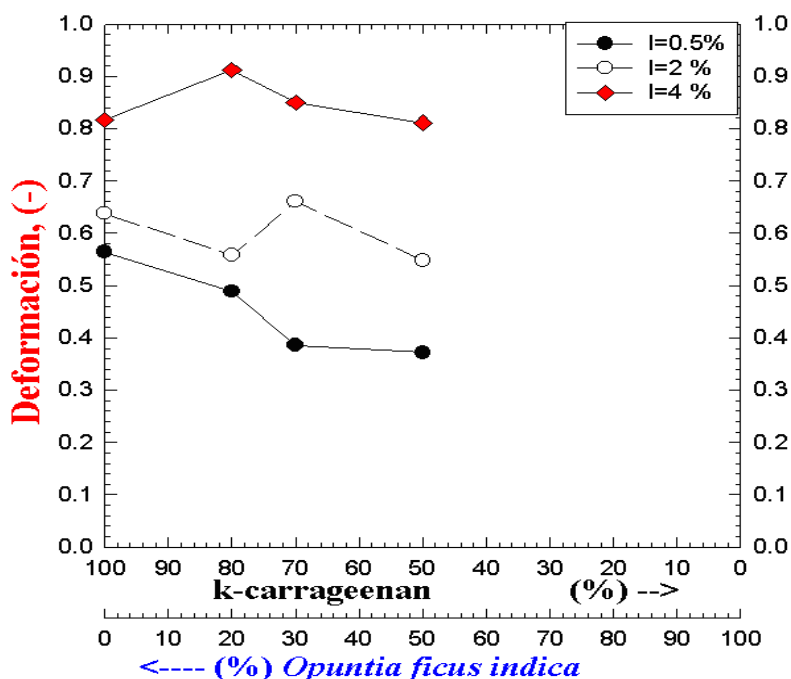
Los resultados con mezclas al 1% de *k*-carragenina y goma de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*), a diferentes proporciones presentes en el embutido se observan en la tabla 3.3, en donde el efecto de la concentración de sales es dependiente, a menor concentración el gel es más frágil, con un valor de deformación de 0.48, y a mayor concentración, el gel se vuelve más maleable y rígido con un valor de deformación del 0.81 como se observa en la figura 3.2 y con punto de fractura de 51.08 kPa, además de presentar mayor elasticidad (Modulo de Young 77.41 kPa).

Para la relación 50/50 de goma de nopal (*Opuntia ficus indica*) y *k*-carragenina se muestran los resultados en la tabla 3.3, se puede determinar que a mayor concentración de iones el gel cárnico va aumentando su deformación de 0.37 a 0.83 y su elasticidad disminuye de 70.17kPa a 51.40 kPa.



**Tabla 3.3** Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de hidrocoloides del 1%, con diferentes proporciones de goma de nopal (*Opuntia ficus indica*) y diferente concentración de sales..

Relación de los componentes en los geles cárnicos.	Deformación $\epsilon_f$	Esfuerzo de fractura $\sigma_f$ (kPa)	Modulo G (kPa)
80 k-carragenina 20 Ofi l=4%	<b>0.81</b>	<b>51.08</b>	<b>77.41</b>
80 k-carragenina 20 Ofi l= 2%	0.55	39.05	78.16
80 k-carragenina 20 Ofi l= 0.5%	<b>0.48</b>	37.06	76.51
70 k-carragenina 30 Ofi l=4%	0.82	40.05	60.05
70 k-carragenina 30 Ofi l= 2%	0.66	44.93	71.54
70 k-carragenina 30 Ofi l=0.5%	<b>0.38</b>	<b>30.66</b>	<b>98.04</b>
50 k-carragenina 50 Ofi l=4%	<b>0.82</b>	25.77	51.40
50 k-carragenina 50 Ofi l= 2%	<b>0.54</b>	28.55	60.90
50 k-carragenina 50 Ofi l=0.5%	<b>0.37</b>	21.55	70.17



**Figura 3.2** Deformación de fractura en función de la fracción de kappa carragenina y goma de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) con diferente concentración de sales y una concentración total del polisacárido del 1% (p/p).

### 3.1.3 En sistemas cárnicos de *kappa* carragenina con almidón

La relación 80/20 de *k*- carragenina con almidón (17% con amilosa) presenta un incremento gradual al esfuerzo de fractura de 27.74kPa a 33.47kPa a medida que se incrementa la concentración de iones, esto debido probablemente a que se forma una competencia de estos y la red del medio (ver tabla 3.4). Además, el esfuerzo de fractura se mantiene constante a medida que la concentración de iones se incrementa en el gel resultante.

Por lo que se puede determinar que a mayor concentración de ion el gel es deformable y elástico, y a menor concentración de iones es frágil y rígido. Lo cual se explica mediante el mecanismo de gelificación del almidón (presencia de sales, y el complejo que forma con la amilopectina).

**Tabla 3.4** Resultados de las pruebas mecánica con una concentración de hidrocoloides del 1%, con diferentes proporciones de almidón (con el 17% amilasa) y diferente concentración de sales.

Relación de los componentes en los geles cárnicos.	Deformación $\epsilon_f$	Esfuerzo de fractura $\sigma_f$ (kPa)	Modulo G (kPa)
80 <i>k</i> -carragenina 20 almidón I=4%	0.91	<b><u>33.47</u></b>	61.42
80 <i>k</i> -carragenina 20 almidón I=2%	0.62	35.64	64.25
80 <i>k</i> -carragenina 20 almidón I=0.5%	0.53	<b><u>27.74</u></b>	96.84
70 <i>k</i> -carragenina 30 almidón I=4%	0.82	31.05	34.02
70 <i>k</i> -carragenina 30 almidón I=2%	0.60	47.29	<b>77.93</b>
70 <i>k</i> -carragenina 30 almidón I= 0.5%	0.55	41.36	78.75
50 <i>k</i> -carragenina 50 almidón I=4%	<b><u>0.81</u></b>	23.23	<b><u>35.20</u></b>
50 <i>k</i> -carragenina 50 almidón I=2%	<b><u>0.56</u></b>	37.95	64.50
50 <i>k</i> -carragenina 50 almidón I= 0.5%	<b><u>0.53</u></b>	28.07	82.86

Para la relación 50/50 *k*-carragenina con almidón, se puede observar que al 4% de concentración de iones, el gel cárnico es deformable 0.81 y elástico 35.20 kPa, y al 2% y 0.5% los geles son frágiles y maleables (de 0.56 a 0.53),

esto debido a que la componente sólida la imparte la *k*-carragenina y que el almidón imparte principalmente viscosidad, dando geles frágiles y maleables a esta relación, a diferencia de la relación 80/20 (tabla 3.3).

### 3.2 EFECTO DE LA CONCENTRACION DE GOMA DE MUCILAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*)

Los resultados a 80/20 con *k*-carragenina con goma de nopal (*Opuntia ficus indica*) presentadas previamente en la tabla 3.3, se observó que la goma de nopal le imparte al gel cárnico resultante características maleables, donde el esfuerzo de fractura disminuye. También se puede apreciar que al tener mezclas con goma de *Opuntia ficus indica* esta le imparte al gel cárnico propiedades elásticas y con mayor rigidez en relaciones pequeñas (80/20) a una concentración del 1%. Lo mismo sucede a una concentración del 2% el gel es elástico, pero pierde rigidez respecto aquellos al 1% (ver tabla 3.5).

De los datos reportados en la tablas, como la fuerza de ruptura corregida y la deformación de Hencky son función de la relación de *k*-carragenina / *Opuntia ficus indica* (*Ofi*), donde el esfuerzo de fractura decrece a medida que la concentración de goma de mucílago se incrementa en el gel resultante (ver tablas 3.3 y 3.5).

**Tabla 3.5** Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de hidrocoloides del 2%, con diferentes proporciones de goma de nopal (*Opuntia ficus indica*) y diferente concentración de sales.

Relación de los componentes en los geles cárnicos.	Deformación Ef	Esfuerzo de fractura of (kPa)	Modulo G (kPa)
80 <i>k</i> -carragenina-20 <i>Ofi</i> I= 2%	0.54	<u>29.29</u>	85.79
50 <i>k</i> -carragenina-50 <i>Ofi</i> I= 2%	0.49	<u>18.94</u>	62.80

Esto debido a que la goma de *Ofi* le confiere viscosidad al gel a diferencia de la *k*-carragenina sola que presenta propiedades gelatantes. Además, la *k*-

carragenina forma geles más rígidos con mayor concentración de iones, pero son frágiles al aumentar la concentración de goma *Ofi*. Lo anterior se explica con lo reportado en la literatura (Medina et al., 2003), donde los iones sodio se agregan más a la red estructural que forma la k-carragenina, resultando geles más rígidos, pero en la mezcla con goma *Ofi*, resultan geles no tan quebradizos como la k-carragenina sola.

A la par con la fuerza de fractura y la deformación de Hencky se presenta en estos sistemas que la k-carragenina sola sigue una tendencia similar a los geles de carragenina que se reportan en la literatura por Mirza y Leilieve (1992); Medina et al., (2003), esto nos indica que las proteínas de la carne no interactúan de una forma directa, y que la componente sólida la esta impartiendo solo la kappa carragenina. Es decir, cuando tenemos un gel cárnico con una concentración de iones de 0.5% y una concentración fija del ingrediente funcional al 1% se observo que conforme aumenta la concentración de goma *Ofi* el gel es más cohesivo, por lo que decimos que, a la red estructural de la kappa carragenina se está agregando la goma *Ofi*, similar a lo reportado en la literatura por Medina et al., (2003) para geles de kappa carragenina/ *Opuntia ficus indica*). En otras palabras, el incremento de la cohesividad es debida a la presencia de la goma de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en el gel que forma la kappa carragenina, pero su rigidez decrece a medida que la concentración de la goma *Ofi* se incrementa.

El módulo de Young de geles cárnicos a concentración del ingrediente funcional del 1% decrece a medida que se incrementa la presencia de goma de mucílago en la mezcla resultante para diferentes concentraciones de iones, aunque existe un efecto diferente a una concentración 70/30 a una concentración de iones del 0.5%, este resultado sugiere que para este tipo de sistemas de k-carragenina y goma de mucílago, hay un efecto posiblemente sinérgico de su respuesta mecánica.

Y a fuerzas iónicas del 2% y 4 %, el gel tiende a fluir y menos rígido. Lo anterior se observa con una mayor incidencia a una concentración del hidrocoloides al 2%. Estos resultados se compararon con geles formados de

polisacáridos observando tendencias muy similares a las de Tung et al., (1996) y la representación por Damasio et al., (1990).

Finalmente, podemos afirmar que, cuando la proporción de la goma *Ofi* es menor al 30% en la mezcla, se ven favorecidas las interacciones entre ambos polisacáridos, con el probable efecto de reforzamiento de la estructura desarrollada por k-carragenina, lo cual favorece la obtención de un gel cárnico con características de textura diferentes al obtenido por la k-carragenina sola.

El efecto de reforzamiento del gel formado por k-carragenina y goma de mucílago *Ofi*, se atribuye probablemente a que las cadenas de k-carragenina favorecen la agregación de otros polisacáridos inclusive con mezclas de otras carrageninas (Morris, (1990); Picullel et al., (1992)). Es decir, se forman geles menos quebradizos y cohesivos, además cuando tenemos un 30% de proporción de goma *Ofi* los geles son mas elásticos, y cuando tenemos 20% de proporción de goma *Ofi* son menos elásticos este efecto se debe a que existe un sistema trifásico en donde tenemos a los polisacáridos y las proteínas de la carne, que juegan un papel importante en la cohesividad del gel cárnico.

Esto se explica con lo reportado en la literatura científica por Arnaud, (1989); Murayama et al., (1995) para mezclas de kappa-carragenina con goma de algarrobo, donde en sus atributos de textura disminuyen al agregar algarrobo (agente espesante) a la red de k-carragenina, y además, tienden a ser quebradizos conforme se incrementa la cantidad de goma locust agregada (optimo fue de 8.0 %).

### 3.3 EFECTO DE LA CONCENTRACION DE ALMIDON

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que las adiciones de almidón tienen un efecto en las propiedades mecánicas de los geles compuestos, dando texturas diferentes con respecto a la adición de goma *Ofi*.

Esto probablemente se debe a que el almidón es un compuesto meta estable que forma complejos con la amilopectina, lípidos y agua presentes en el medio e imparte plasticidad. (J.L. Doublier et al., (2001)). Por otro lado, en geles conformados por almidón con kappa-carrageninas (*k-c*) presentan geles cárnicos con un amplio espectro de comportamientos mecánicos (textura).

Donde, la presencia de amilosa en los geles de kappa-carrageninas presenta diferente comportamiento dependiendo de la concentración de kappa-carrageninas y la presencia de sales.

Los resultados sugieren que, en presencia de iones, el gel resultante con *k-c* se caracteriza por un marcado incremento en la rigidez, donde la *k-c* es la fase dominante (medio continuo) en el gel. Así pues, cuando tenemos un gel cárnico con iones al 0.5%, y una concentración 80/20 de aditivo *k-c* y *Al* se observa que, el gel es más cohesivo que con pura *k-carragenina*.

Esto sugiere que la cohesividad es debida a la presencia del almidón en el gel, donde su rigidez se mantiene constante a medida que la concentración del almidón se incrementa, este efecto se aprecia más por la presencia de amilosa contenida en el almidón.

Además, se observa un efecto similar a una concentración de iones del 2%, en la relación 80/20, donde, el gel es menos cohesivo que con *k-c* sola, es decir, que la red es menos estable, este efecto es debido a la competencia que existe de los iones, sobretudo al aumentar la concentración de almidón, donde se aprecia un comportamiento igual, que con *k-c* sola, así como el que se observa con los iones al 0.5% (ver tabla 3.6).

**Tabla 3.6** Resultados de las pruebas mecánica con una concentración de hidrocoloides del 2%, con diferentes proporciones de almidón (con el 17% amilasa) y diferente concentración de sales.

Relación de los componentes en los geles cárnicos.	Deformación Ef	Esfuerzo de fractura $\sigma_f$ (kPa)	Modulo G (kPa)
80 k-carragenina-20 almidón I= 4%	0.83	36.56	85.43
80 k-carragenina-20 almidón I= 2%	0.87	50.85	76.12
80 k-carragenina-20 almidón I= 0.5%	0.52	56.39	<b><u>121.27</u></b>
50 k-carragenina-50 almidón I= 4%	0.78	29.56	51.21
50 k-carragenina-50 almidón I=2%	0.74	39.99	66.05
50 k-carragenina-50 almidón I= 0.5%	0.55	39.19	80.26

Finalmente, el módulo de Young en geles cárnicos a una concentración del ingrediente funcional del 1%, decrece a medida que se incrementa la presencia de almidón en la mezcla, indistintamente de la concentración de iones, dando como resultado geles menos rígidos.

Así cuando el almidón disminuye en la mezclas con k carragenina, se ven favorecidas las interacciones entre ambos polisacáridos, aumentando su rigidez de la siguiente manera: carragenina > almidón > sal, ya que existe un reforzamiento de la estructura desarrollada por *k-c* sola, lo cual se refleja probablemente en la obtención de un gel cárnico con características de textura diferentes al obtenido por la k-carragenina sola (ver tabla 3.6).

El efecto de agregación y gelación del gel conformado por *k-c* y almidón, se atribuye a las cadenas de k-carragenina y la presencia de almidón en el gel resultante, y esto hace que la componente viscosa aumente, ya que la cantidad de almidón es mayor y esta se agrega a la red de la k-carragenina, reforzando o disminuyendo la rigidez dependiendo de la cantidad de almidón y la concentración de iones presentes.

Los geles exhibieron una disminución de sus propiedades mecánicas, conforme aumenta la concentración de iones (ver tabla 3.6), es decir, que los geles son menos cohesivos, menos rígidos, y menos elásticos este efecto es más notorio cuando tenemos menor cantidad de almidón.

Este efecto probablemente se deba a que, existe un sistema complejo en donde tenemos a los polisacáridos y las proteínas de la carne compitiendo por formar la red, y ambos sistemas juegan un papel importante en la cohesividad de la carne.

### **3.4 INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE GRASA**

#### **3.4.1 En sistemas cárnicos de *kappa* carragenina con goma de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*)**

A fin de estudiar el efecto de la respuesta mecánica cuando disminuye la cantidad de grasa en gel cárnico resultante, se realizaron pruebas de compresión uniaxial con diferentes cantidades de grasa (lardo) del 4%, 6.5% y 9% dentro de la formulación.

Las pruebas se hicieron en salchichas con una concentración de 1% del hidrocoloide, proporciones de hidrocoloides al 80/20 y 70/30, ya que a estas variables se obtienen las mejores propiedades mecánicas, y diferentes concentraciones de iones (0.5% y 2%).

El efecto de disminución de la carne hace que los geles cárnicos sean ligeramente menos rígidos, más cohesivos y menos elásticos para el caso de *k-c* sola.

En la relación 80/20 de polisacáridos los geles cárnicos son menos cohesivos, frágiles y ligeramente elásticos, es decir que a esta relación las propiedades elásticas se conservan con ciertas variaciones.

En la relación 70/30 el efecto de la disminución de la grasa solamente se



observa cuando tenemos 9% y 6.5 de grasa, donde los geles cárnicos tienden a mostrar una componente sólida mayor, es decir resultan ser más cohesivos, además de que son menos rígidos y disminuyen su elasticidad.

Finalmente, cuando tenemos 4% de grasa el gel es menos cohesivo, igual de rígido y menos elástico respecto con 9% de grasa tal como se observa en la tabla 3.7.

Por lo tanto, cuando tenemos una fuerza iónica de 0.5% las propiedades de textura se ven afectadas ligeramente por la disminución de la carne hasta cierto límite.

**Tabla 3.7** Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de hidrocoloides del 1%, con diferentes proporciones de goma de nopal (*Opuntia ficus indica*) y una concentración de 0.5% de sal.

Relación de los componentes en los geles cárnicos.	Deformación $\epsilon_f$	Esfuerzo de fractura $\sigma_f$ (kPa)	Modulo G (kPa)
k carragenina 9% grasa	0.56	42.28	95.00
k carragenina 6.5% grasa	0.50	41.95	88.24
k carragenina 4% grasa	0.50	41.05	85.23
80 k carragenina 20 Ofi 9% grasa	0.48	37.06	76.58
80 k carragenina 20 Ofi 6.5% grasa	0.50	36.92	74.89
80 k carragenina 20 Ofi 4% grasa	0.52	25.00	64.04
70 k carragenina 30 Ofi 9% grasa	<b>0.38</b>	<b>30.66</b>	<b>98.04</b>
70 k carragenina 30 Ofi 6.5% grasa	<b>0.34</b>	<b>24.61</b>	<b>81.88</b>
70 k carragenina 30 Ofi 4% grasa	0.50	30.51	71.28

Cuando la concentración de iones es de el 2% los geles cárnicos tienden a fluir ya que estos se hacen más maleables cuando hay menos grasa, para el caso de el esfuerzo de fractura hay variaciones considerables entre 6.5% y 4%

Para la salchicha con formulación del 6.5% de grasa disminuye el esfuerzo de fractura dándonos un gel cárnico más frágil y para el 4% de grasa el gel es quebradizo, este efecto se debe probablemente a la interacción que tienen los iones entre las gomas y estas a su vez con las proteínas de la carne, por otra

parte si observamos a el modulo de Young este disminuye conforme hay menos grasa, es decir, son geles con menor dureza tal como se observa en las tabla 3.8.

**Tabla 3.8** Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de hidrocoloides del 1%, con diferentes proporciones de goma de nopal (*Opuntia ficus indica*) y una concentración de 2% de sal.

Relación de los componentes en los geles cárnicos.	Deformación $\epsilon_f$	Esfuerzo de fractura $\sigma_f$ (kPa)	Modulo G (kPa)
k carragenina 9% grasa	0.63	52.19	100.94
k carragenina 6.5% grasa	0.67	<b>57.41</b>	<b>88.37</b>
k carragenina 4% grasa	0.72	31.56	55.27
80 k carragenina 20 Ofi 9% grasa	0.55	39.05	78.16
80 k carragenina 20 Ofi 6.5% grasa	0.61	<b>40.25</b>	<b>74.79</b>
80 k carragenina 20 Ofi 4% grasa	0.65	40.56	72.28
70 k carragenina 30 Ofi 9% grasa	<b>0.66</b>	<b>44.93</b>	<b>71.54</b>
70 k carragenina 30 Ofi 6.5% grasa	<b>0.67</b>	<b>45.50</b>	<b>70.86</b>
70 k carragenina 30 Ofi 4% grasa	0.58	27.9	53.21

Los geles cárnicos para relaciones 80/20 muestran ser más deformables conforme disminuye la grasa, sin embargo no tienden a fluir como se muestra en el caso de la k-carragenina sola.

Además, para el caso de la fuerza de ruptura y el modulo de Young no se ven estos parámetros afectados por la disminución de la grasa, se mantienen prácticamente constantes, es decir, la textura del gel en estas condiciones no presentan variaciones en su elasticidad y rigidez.

### 3.4.2 En sistemas cárnicos de *kappa* carragenina con almidón

A fin de estudiar el efecto de la respuesta mecánica cuando disminuye la cantidad de grasa en gel cárnico resultante, se realizaron pruebas de compresión uniaxial con diferentes cantidades de grasa (lardo) del 4%, 6.5% y 9% dentro de la formulación.

Las pruebas se hicieron en salchichas con una concentración de 1% del hidrocoloide, proporciones de hidrocoloides al 80/20 y 70/30, y una concentración de iones 0.5%, ya que a estas variables se obtienen las mejores propiedades mecánicas.

El efecto de la disminución de la grasa, hace que los geles cárnicos sean ligeramente menos rígidos, igual de cohesivos y menos elásticos. Para el caso de la relación 80/20 en función de mezcla de polisacáridos los geles cárnicos son menos cohesivos, rígidos y menos elásticos es decir que a esta relación las propiedades elásticas se conservan con pequeñas variaciones tal como se observa en la tabla 3.9

**Tabla 3.9** Resultados de las pruebas mecánicas con una concentración de hidrocoloides del 1%, con diferentes proporciones de almidón y una concentración de 0.5% de sal.

Relación de los componentes en los geles cárnicos.	Deformación $\epsilon_f$	Esfuerzo de fractura $\sigma_f$ (kPa)	Modulo G (kPa)
k carragenina 9% grasa	0.56	42.28	95.00
k carragenina 6.5% grasa	0.50	41.95	88.24
k carragenina 4% grasa	0.50	41.05	85.23
80 k carragenina 20 almidón 9% grasa	<b>0.50</b>	<b>40.97</b>	<b>90.91</b>
80 k carragenina 20 almidón 6.5% grasa	0.50	41.22	83.88
80 k carragenina 20 almidón 4% grasa	0.55	44.75	82.87
70 k carragenina 30 almidón 9% grasa	0.55	41.36	78.75
70 k carragenina 30 almidón 6.5% grasa	0.54	40.84	75.87
70 k carragenina 30 almidón 4% grasa	<b>0.53</b>	<b>39.52</b>	<b>75.21</b>

De igual manera en la relación 70/30 el efecto de la disminución de la grasa solamente se presenta cuando tenemos 9% y 6.5% tal como se observa en los valores que se encuentran en las Tabla 3.9, en donde los geles cárnicos tienden a tener una componente intermedia ya que tienen la mitad viscosa y la otra rígida, en donde en el espectro mecánico se encuentra a la mitad, es decir que son menos cohesivos, rígidos y disminuye su elasticidad.

Cuando tenemos 4% de grasa este efecto se observa ligeramente en función de la formulación con el 9% de grasa el gel cárnico es menos cohesivo, igual de rígido y ligeramente menos elástico.

Los geles con un sistema 70/30 en función de los polisacáridos de *k-c* y *Al*, presentó, deformación, esfuerzo de fractura y módulo de Young con grandes variaciones, es decir, que las propiedades de textura se ven afectadas cuando tenemos un 9% y 4% de grasa.

Los geles tienden a ser menos cohesivos, menos rígidos y menos elásticos que cuando tenemos 9% de gras tal como se observa en la tabla 3.9. En otras palabras, la disminución de la cohesividad es debida a la presencia de almidón en el gel ya que este tiene gran cantidad de amilopectina y no tiene el mismo efecto que con goma *Ofi* aunque los dos polisacáridos impartan viscosidad.

### **3.5 INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE AGUA EXPULSADA EN MEZCLAS DE GOMA DE MUCILAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*)**

A fin de estudiar la sinéresis, es decir el efecto en la cantidad de agua que se expulsa del gel cárnico resultante, se pesó el gel cárnico antes y después de cada compresión para estimar la cantidad de agua expulsada en el gel cárnico a las pruebas de compresión uniaxial.

Las pruebas se hicieron en salchichas con una concentración de 1% del hidrocoloide ya que a esta concentración se obtienen las mejores propiedades mecánicas diferente concentración de iones (0.5% y 2%).

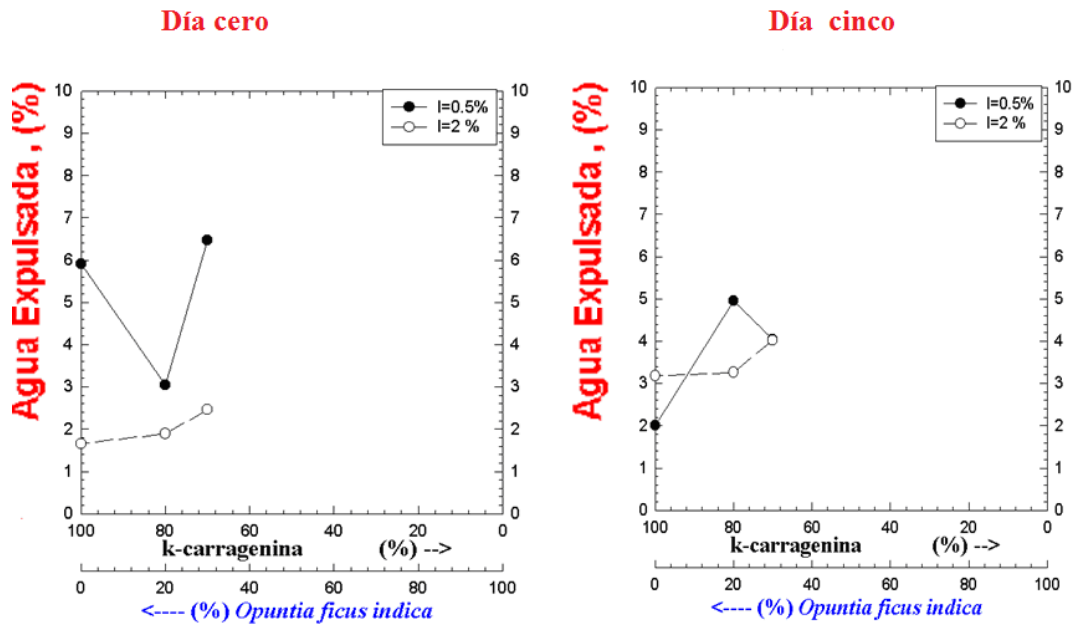
**Al analizar la cantidad de agua retenida por los geles cárnicos después de una compresión uniaxial, fue posible observar que, conforme la concentración de la goma *Ofi* aumenta la cantidad de agua expulsada es mayor a ambas concentraciones de iones, y además, al 0.5% de concentración de iones, se retienen aún más agua a un tiempo cero.**

A los cinco días de envejecimiento del gel a una temperatura de 2°C y humedad relativa 70%, la cantidad de agua retenida es mayor a ambas concentración de iones. A la relación 70 *k-c* / 30 *Ofi*, y una concentración de iones del 0.5% el por ciento de agua disminuye, tal como se observa en la figura 3.3, a esta relación, se retiene aún más agua que, con el blanco de *k*-carragenina.

En la tabla 3.10 se muestran valores de porcentaje de agua expulsada por los geles cárnicos después de la compresión uniaxial, donde a una concentración de sales del 2% la pérdida es menor que, a una concentración de sales de 0.5% en el transcurso del envejecimiento de gel resultante.

Tabla 3.10 Resultados de cantidad de agua expulsada por los geles cárnicos a cero días y cinco días de envejecimiento del gel, a una concentración del 1% de polisacáridos y diferente concentración de sales.

Relación de los componentes en los geles cárnicos.	% pérdida H <sub>2</sub> O, t= 0 días	% pérdida H <sub>2</sub> O, t=5 días
<i>k</i> -carragenina l= 0.5%	5.91 ± 0.93	2.00 ± 0.42
<i>k</i> - carragenina, l= 2%	<b><u>1.66 ± 0.20</u></b>	<b><u>3.18 ± 0.20</u></b>
80 <i>k</i> -carragenina-20 <i>Ofi</i> , l= 0.5%	<b><u>3.04 ± 0.20</u></b>	<b><u>4.95 ± 0.21</u></b>
80 <i>k</i> - carragenina 20 <i>Ofi</i> l= 2%	<b><u>1.89 ± 0.19</u></b>	<b><u>3.26 ± 0.31</u></b>
70 <i>k</i> -carragenina-30 <i>Ofi</i> l= 0.5%	<b><u>6.46 ± 0.98</u></b>	<b><u>4.04 ± 0.32</u></b>
70 <i>k</i> - carragenina 30 <i>Ofi</i> l=2%	<b><u>2.46 ± 0.37</u></b>	<b><u>4.02 ± 0.89</u></b>



**Figura 3.3** Agua expulsada en geles mixtos de k-carragenina / goma de *Ofi* en función de la concentración de iones al 0.5% y 2% a la izquierda día cero y a la derecha 5 días de envejecimiento del gel.

### 3.6 INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE AGUA EXPULSADA EN MEZCLAS DE ALMIDON

A fin de estudiar la sinéresis, es decir el efecto en la cantidad de agua que se libera del gel cárnico resultante, se pesó el gel cárnico antes y después de cada compresión para estimar el por ciento de agua retenido en el gel cárnico a las pruebas de compresión uniaxial.

Las pruebas se hicieron en salchichas con una concentración de 1% del hidrocoloide ya que a esta concentración se obtienen las mejores propiedades mecánicas diferente concentración de iones (0.5% y 2%).

**Al analizar la cantidad de agua retenida por los geles cárnicos después de una compresión uniaxial, fue posible observar que, conforme la concentración de almidón aumenta la cantidad de agua retenida es menor.**

En la tabla 3.11 se muestran los resultados a una concentración de iones de 0.5% en donde se retienen aún más agua, a un tiempo cero.

A los cinco días de envejecimiento del gel a una temperatura de 2°C y humedad relativa 70%, la cantidad de agua retenida es menor, a la misma cantidad de iones y relaciones, tal como se observa en la tabla 3.11.

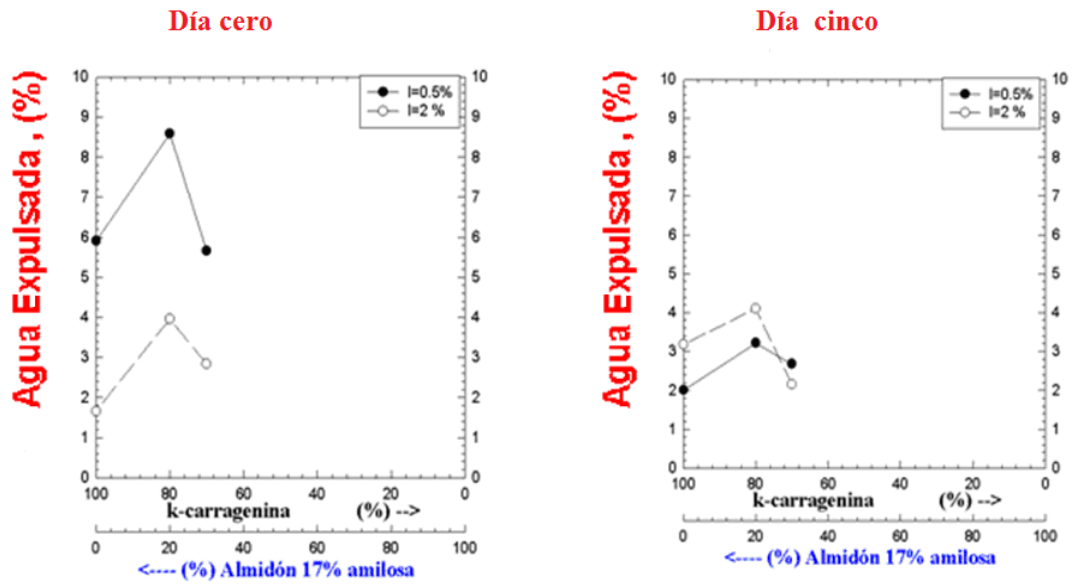
A la relación 70 *k-c* / 30 almidón, y una concentración de iones del 0.5% el por ciento de agua disminuye, tal como se observa en la figura 3.4, a esta relación, se retiene igual cantidad de agua que, con el blanco de *k*-carragenina.

**El agua expulsada por los geles cárnicos después de la compresión uniaxial, a una concentración de iones del 2%, la pérdida de agua es menor que, a una fuerza iónica de 0.5% en el transcurso del envejecimiento del gel resultante.**

**La cantidad de agua expulsada es mayor en la relación 80/20 con almidón que con el blanco de *k*-carragenina, tal como se muestra en la tabla 3.11.**

**Tabla 3.11 Resultados de cantidad de agua expulsada por los geles cárnicos a cero días y cinco días de envejecimiento del gel, a una concentración del 1% de polisacáridos y diferente concentración de sales.**

<b>Relación de los componentes en los geles cárnicos.</b>	<b>% perdida H2O 0 días</b>	<b>% perdida H2O 5 días</b>
<i>k</i> -carragenina I= 0.5%	<b><u>5.91 ± 0.93</u></b>	<b><u>2.00 ± 0.42</u></b>
<i>k</i> - carragenina I= 2%	<b><u>1.66 ± 0.20</u></b>	<b><u>3.18 ± 0.20</u></b>
70 <i>k</i> -carragenina 30 almidón I= 0.5%	<b><u>5.66 ± 0.82</u></b>	<b><u>2.68 ± 0.41</u></b>
70 <i>k</i> -carragenina 30 almidón I=2%	<b><u>2.84 ± 0.21</u></b>	<b><u>2.15 ± 0.51</u></b>
80 <i>k</i> -carragenina 20 almidón I= 0.5%	8.59 ± 0.98	3.22 ± 0.53
80 <i>k</i> -carragenina 20 almidón I= 2%	<b><u>3.96 ± 0.42</u></b>	<b><u>4.10 ± 0.54</u></b>



**Figura 3.4** Agua expulsada en gels mixtos de k-carragenina / almidón en función de la concentración de iones al 0.5% y 2% a la izquierda día cero y a la derecha 5 días de envejecimiento del gel.



## 4. CONCLUSIONES

La aplicación de nuevas mezclas de polisacáridos ayudan a tener diferentes gamas de texturas, con tal estudio se propone el uso de goma de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) como aditivo alimentario reductor de valor calórico.

De los resultados analizados podemos concluir que:

- Las mezclas de hidrocoloides a una concentración del 1%, concentración de iones de 0.5% y con una proporción 70 /30 de k-carragenina con goma *Ofi*, se produce un gel de proteína-hidrocoloide, elástico y rígido obteniendo las mejores propiedades mecánicas para estas mezclas.
- Las mezclas de k-carragenina con almidón a una proporción 80/20, en 1% concentración de hidrocoloides, y una concentración de cloruro de sodio 0.5% se produce un gel de proteína-hidrocoloide, más elástico y rígido obteniendo las mejores propiedades mecánicas para estas mezclas.
- La k-carragenina es sensible a la concentración de sales de cloruro de sodio, produce geles rígidos y quebradizos en la matriz de la salchicha.
- El módulo de Young se incrementa en los sistemas con *k*-carragenina-goma *Ofi*, con respecto a los sistemas con *k*-carragenina-almidón. Lo anterior indica que al adicionar la goma *Ofi* esta imparte características elásticas al gel.
- Para los efectos de concentración de hidrocoloides y la cantidad de iones están ligados a una proporción 80/20 de k-carragenina-almidón, conforme aumenta la fuerza iónica el gel es menos rígido y estable.

- Los parámetros de textura de las relaciones de *k*-carragenina-almidón (80/20) y *k*-carragenina-goma *Ofi* (80/20) son superiores a los de las mezcla de *k*-carragenina-almidón (50/50) y *k*-carragenina- *Ofi* (50/50) a una concentración total del 1 %(p/p) y 2% (p/p).
- Al aumentar la concentración de cloruro de sodio disminuyen las propiedades de textura es decir que los geles son menos cohesivos, menos rígidos y menos elásticos para ambas combinaciones de hidrocoloides (kc-Ofi / kc-Al).
- Las propiedades mecánicas cambian ligeramente cuando se disminuye un 2.5% de grasa, mientras que el efecto es más notorio cuando disminuimos un 5% de la grasa de la formulación total.
- Se tiene más agua en el gel cárnico a una concentración de iones del 2% que cuando se tiene una menor cantidad de sales.
- El gel de *k*-carragenina presenta sinéresis, cuanto menor es la concentración de sodio mayor será la sinéresis.
- El agua expulsada por los geles carnicos después de la compresión uniaxial a una concentración de cloruro de sodio del 2%, la perdida de agua es menor que a una concentración de las sales del 0.5% durante el envejecimiento del gel resultante para ambas combinaciones de hidrocoloides (kc-Ofi / kc-Al).
- La mezcla de *k*-carragenina-goma *Ofi* puede sustituir a la mezcla de *k*-carragenina-almidón, ya que tiene propiedades mecánicas muy similares.

- La goma de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) se incorpora a la matriz de geles cárnicos, impartiendo propiedades mecánicas diferentes para obtener una gama de texturas diferentes, novedosas e interesantes con bajo valor calórico.

# APENDICE A

## TERMINOLOGÍA REOLÓGICA

1. ADHESION (Adhesión). La fuerza que resiste la separación de dos cuerpos que están en contacto.
2. AGREGADO (Aggregate). Un grupo de partículas mantenidas juntas.
3. ANISOTRÓPICO (Anisotropic). Dícese de aquellos cuerpos en los que la magnitud de la propiedad de la que se trate no es la misma en todas las direcciones.
5. BLANDURA (Softness). Tendencia a deformarse fácilmente.
6. COHESION (Cohesion). La atracción entre las moléculas o las partículas que forman la masa de un líquido o un sólido.
7. COMPRESIBILIDAD (Compressibility). a) La disminución relativa de volumen producida por un aumento de la presión, b) El recíproco del módulo de compresión.
8. CRITERIO DE HENCKY-VON MISES (Hencky-von Mises criterion). El logaritmo natural de la razón de la longitud inicial a la longitud final, en tracción o en compresión. También denominada deformación logarítmica o deformación natural.
9. CUERPO (body) Una designación subjetiva de "consistencia" b) Véase "modelo": esta interpretación está en desuso, por ejemplo, "cuerpo de Bingham".
10. CURVA DE FLUJO (Flow curve). La curva que representa el esfuerzo frente a la velocidad de deformación.
11. DEFORMACION (Strain). La medida de la deformación respecto a la dimensión de referencia (longitud, área o volumen). También se denomina deformación relativa.
13. DEFORMACION (Deformation). Acción y efecto de un cambio de forma, de volumen o de ambos.
14. DEFORMACION DE VOLUMEN (Volume strain). La variación de volumen referida al volumen original.
15. DEFORMACION PERMANENTE (Permanent deformation, set). La deformación que permanece después de retirar el esfuerzo que la produjo.

16. DEFORMACION RELATIVA (Relative deformation). La razón entre el incremento de deformación y la dimensión de referencia (longitud, área o volumen). También se denomina deformación (strain).
17. DUREZA (Hardness). La resistencia de un material al rayado o la penetración.
18. ECUACION CONSTITUTIVA (Constitutive equation). Una ecuación que relaciona el esfuerzo, la deformación, el tiempo y también a veces otras variables como la temperatura. También se denomina ecuación reológica de estado.
19. EFECTO DE FUERZA NORMAL (Normal force effect). Un efecto causado por componentes normales de fuerza, generados por cizalla y que no son iguales, es decir, el efecto Weissenberg.
20. ELASTICIDAD (Elasticity). Conducta de esfuerzo/deformación reversible.
24. ELASTICO (Elastic). El adjetivo de elasticidad.
25. Energía DE DEFORMACION (Strain energy). La energía almacenada en un material por la deformación elástica. También energía elástica.
26. ESFUERZO (stress). La fuerza por unidad de área.
27. ESFUERZO DE PRUEBA (Proof stress). El esfuerzo necesario para producir una deformación permanente especificada.
29. ESFUERZO NORMAL (Normal stress). La componente del esfuerzo en ángulo recto con el área considerada.
30. ESFUERZO DE PRUEBA (Proof stress). El esfuerzo necesario para producir una deformación permanente especificada.
31. ESFUERZO NORMAL (Normal stress). La componente del esfuerzo en ángulo recto con el área considerada.
32. FRACTURA FRAGIL (Brittle fracture). Una fractura que tiene lugar cuando la deformación plástica es escasa o nula.
33. FRAGILIDAD (Shortness). Tendencia a agrietar con poca deformación plástica.
34. FUERZA NORMAL (normal force). a) Fuerza que actúa en ángulo recto sobre un área especificada, b) En reología describe una fuerza que actúa en ángulo recto con el esfuerzo de cizalla aplicado.

35. FUNCION DE ENERGÍA DE DEFORMACION (Strain energy function). La energía elástica almacenada en un cuerpo expresado en términos de deformación o esfuerzo. También se llama función de energía almacenada.
36. MODELO (Model). Una representación idealizada de la conducta de cualquier sistema cuantificada en términos matemáticos, NOTA. Se han definido los siguientes modelos reológicos: modelo de Bingham, modelo de Burgess, modelo de fluido de Green-Rivlin, modelo de Hooke, modelo de Kelvin, modelo de Maxwell, modelo de fluido Newtoniano, modelo de fluido según la ley de la potencia, modelo de fluido Reiner-Rivlin.
37. MODELO DE HOOKE (Hooke model). Un modelo que representa la ley de Hooke de la elasticidad, es decir, un resorte.
38. MODELO DE SOLIDO LINEAL ESTANDAR (Standard linear solid model). Un modelo viscoelástico consistente en un modelo de Kelvin en serie con un modelo de Hooke o, alternativamente, un modelo Maxwell en paralelo con un modelo Hooke.
39. MODULO (Modulus). En reología es la razón de un componente del esfuerzo a un componente de la deformación. NOTA. Se han definido los siguientes módulos: módulo de compresión compleja, dinámica, elástica, de partida, secante, de cizalla, de almacenamiento, tangente, de Young.
40. MODULO DE COMPRESION. La razón de la presión aplicada sobre un cuerpo isotrópico a la deformación elástica del volumen del cuerpo. Su recíproca es la "compresibilidad".
41. MODULO DE ELASTICIDAD (Modulus of elasticity). El cociente entre esfuerzo y la correspondiente deformación elástica (Véase también módulo de compresión, módulo de cizalla y módulo de Young). Es el recíproco de la capacitancia.
42. MODULO DE YOUNG (Young's modulus). El cociente entre el esfuerzo de tracción y la correspondiente deformación de tracción de una sustancia elástica, medido en deformaciones uniaxiales.
43. REOLOGIA (Rheology). La ciencia del flujo y la deformación de la materia.
44. REOMETRO (Rheometer). Un instrumento para medir propiedades reológicas.
45. SINERESIS (Syneresis). La expulsión espontánea de líquido por un gel durante el almacenamiento.

- 46 SÓLIDO (Solid). Un material que no fluye bajo esfuerzos pequeños.
47. TENSION (Tension). Una fuerza normal a la superficie sobre la que actúa y dirigida hacia el exterior del cuerpo.
48. TENSOR DE ESFUERZO (Stress tensor). Una matriz de los componentes de la deformación de cizalla y el esfuerzo normal, que representa el estado del esfuerzo en un punto de un cuerpo.
49. VISCOELASTICIDAD (Viscoelasticity). Que posee propiedades viscosas y elásticas. A veces el término se utiliza restringidamente sólo para sólidos.
50. VISCOELASTICIDAD LINEAL (Linear viscoelasticity). Viscoelasticidad caracterizada por una relación lineal entre el esfuerzo, la deformación y la derivada con respecto al tiempo de la deformación.
51. VISCOSIDAD (Viscosity). a) Cualitativamente es la propiedad de un material de resistir la deformación de manera creciente a medida que crece la velocidad de deformación. b) Cuantitativamente es una medida de esta propiedad definida como el cociente entre el esfuerzo de cizalla y la velocidad de cizalla en flujo estacionario. Frecuentemente se utiliza como sinónimo de viscosidad aparente o coeficiente de viscosidad.
52. VISCOSIDAD DE COMPRESION (Bulk viscosity). La viscosidad asociada con los cambios de volumen, es decir el cociente entre el esfuerzo isotrópico y la velocidad de deformación de volumen.

# BIBLIOGRAFIA

- Badui D.S.**, (2006), Química de los alimentos, México D.F., Alambra Mexicana, Cuarta edición, 81-106pp.
- Badenhuizen, N.P.**, (1965), Detection of Changes un the Paracrystalline Pattern of Starch Granules by Means of Acridine Orange, Die Starke, 3, 69pp.
- Bird, J.K.**, (1993), Análisis of Gum in Foods”, Industrial Gums, Eds.Roy L.Whistter and James N. BeMiller, Third edition, Chap.23, 606-613pp.
- Boune M.**, (1982), Principles of Onjetive texture measurements, Concepts and Measurements Academic Pess New York, 44-117pp.
- Bravo-Hollins, H.**, (1978), Las cactaceas de Mexico, Universidad Nacional Autónoma de México, 1-19, 62-83,166-170, 320-322pp.
- Burgos, G.J.**, (1977), Introducción a la reología de los alimentos , España Zaragoza, Acribia , 13-34pp.
- Costell, Elvira., Friszman S.M., Duran,L.**, (1992), Propiedades Físicas Reología de sólidos y textura, Revista del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (CSIC), capitulo No. 6, 215-257pp.
- Costell, E.**, (1998), Reología de sólidos y textura, España, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos , CSIC.
- Daget, N. and Collyer**, (1984) , Comparison between quantitative descriptive análisis and physical measurements of gel systems and evaluation of the sensorial meted. J. Texture Studies, 15, 227-245pp.
- Damasio , M.H., Fiszman, S.M., Costell, E., and Duran L.**, (1990), Influece af composition on the resistance to compression of kappa-carregeenan-locust bean gum-guar gum mixed gels, Food Hydrocolloids ,3,(6), 457-464pp.
- Damasio , M.H., Fiszman, S.M., Costell, E., and Duran L.**, (1990), Influence of composition on mechanical properties of Kappa-carrageenan-locust bean gum-guar gum mixed gels, Puncture and penetration test ,Rev. Agroquim.Tecnol.Aliment.,30,(1),109-121pp.
- Dea, I, C.M.**, (1993), Conformational origins of polysaccharides solution and gel proprieties in industrial Gums, 3° Edi., Academic Press Inc.1-19pp.



**Fenema. O.R.**, (1992), Química de Alimentos, España Zaragoza, Acribia, 128-137, 148-150pp.

**Flores Valdes Claudio A.**, (1992), Producción, Industrialización y comercialización del Nopal en México, Mexico D.F. , Colegio Bilbao 2-16pp.

**Fuentes R. C. y Luna R.M.P.**, (2001), Comportamiento reológico y estabilidad en geles cárnicos, México D.F., Universidad Simón Bolívar, 9-45pp.

**Geatano J.**, (1997). Elaboración de productos cárnicos. Boletín informativo, México.

**Glicksman, M.**, (1982), Foods Applications of in Foods Carbohydrates, IFT Basic Symposium Series, AVI Publishing Company, INC, 270-295pp.

**Gordon I.R.**, (1995), Foods Applications of Hidrocolloids in Western Europe in the 90's, Swintzerland, Giract Sarl, 29-41pp.

**Hughes C.C.**, (1987), The additives Guide, John Wiley & Sons, 69, 70pp.

**Imerson A.**, (1994), Thichenig gelling agents for food , Greant Britain, Blackie Academic Professional, 25-39pp.

**Johnston-Banks, F.A.**, (1990), Gelatine in Foods gels, New York, Elsevier Applied Science, 233-290pp.

**Klose R. and Glicksman M.**, (1970), Gum Handbook of food additives, New York, General foods Corporation Technical Center, 25-50pp.

**Mao, R., Tang, J., and Swanson, B.G.**, (2000). Texture properties of high and low mixed gellan gels. Carbohydrate Polymers, 41, 331-338 pp.

**Mc Garvie D. and Parolis H.**, (1981), Methylation Analysis of the mucilage of Opuntia Ficus indica, Carbohydrate Research, 88, 305-314pp.

**Mc Garvie D. and Parolis H.**, (1979), The Mucilage Of Opuntia ficus indica, Elsevier Sci, 69, 171-179pp.

**Mc Garvie D. and Parolis H.**, (1981), The Mucilage Of Opuntia ficus indica part 2, Elsevier Sci, 1464-1466pp.

**Medina T.L., Brito De La F., Torrestiana S.B. y Katthain R.**, (2000), Rheological properties of the mucilage gum (Opuntia ficus indica), Food Hydrocolloids (ELSEVIER) , 14, 417-424pp.

**Medina T.L., Brito De La F.**, (2002), Mechanical properties of gels formed by mixtures of mucilage gum (opuntia ficus indica) and carrageenans, 1-6pp.

**Medina T.L., Brito De La F., Torrestiana S.B. y Alonso R.S,** (2003), Mechanical properties of gels formed by mixture of mucilage gum (*Opuntia ficus indica*) and carrageenans, Carbohydrate Polymers.

**Medina T.L. Brito-De La F., Villarreal González A.P.,** (2003), Resistencia a la fractura en geles cárnicos bajo la influencia de aditivos de kappa – carragenina y *Opuntia ficus indica*, Memorias del XXIV Encuentro Nacional de la AMIDIQ 2003, ALI06 , 26-28 pp

**Nieto Villalobos Z.,** (1999), Manual de Practicas de Laboratorio, Productos Carnicos, Departamento de Alimentos y Biotecnología F.Q., UNAM, 55-59 pp.

**NORMA Oficial Mexicana NOM-122-SSA1-1994,** Bienes y servicios. Productos de la carne. Productos cárnicos curados y cocidos, y curados emulsionados y cocidos. Especificaciones sanitarias.

**Norton, I.T.,** (1990), The Influence of ionic environment and polymeric mixing on the physical properties of iota and kappa carrageenan systems in gums and stabilizers for the food industry 5, Phillips G.O. , Williams P.A. Wedlock D.J. (eds), IRL Press at Oxford University Press Oxford, 511-520pp.

**Norton.I.T. and Lillford.,** (1991), Food Hydrocolloids and user's viewpoint", Gums and Stabiliser for the Food Industry, Phillips G.O., Wedlock D.J. and Willims P.A., Ed. Elsevier Applied Sci. Publishers, 3, 3-15pp.

**Muller, A.G.,** (1973), Introducción a la reología de los alimentos, Zaragoza España, Acribia, 84-140pp

**Organización Internacional de Estandarización,** (1979), Standard, 549 , 3 pp.

**Pimienta Barrios Eulogio,** (1991), El nopal tunero, Primera edición , Departamento de Investigación Científica y superación Académica, Universidad de Guadalajara 1-45pp.

**Price J.B.,** (1994), Ciencia de la carne y de los Productos cárnicos, España Zaragoza, Acribia, 57-125 ,393-413pp.

**R.Mao, J.Tang , B.G. Sawanson.,** (2000), Texture properties of high and low acyl mixed gellan gels, Carbohydrate polymers,41,331-338pp.

**Rámirez M.E.,** (1972), Cultivo , explotación y aprovechamiento del nopal, Mundo Científico, revista especializada en divulgación técnica y científica, No. 4 I.P.N. COFFASEDICT, 1-35pp.

**Rinaudo.M.**, (1994), On The relation Structure-Properties Of Some Polysaccharides Used in The food Industry, Food Hydrocolloids:structures, Properties, and Funcions, 2, 21-31pp.

**Reiner,M.**, (1960), Deformation , Strain and Flow, Lewis,London .

**Revista Iberoamericana de Polímeros**, (2002), Volumen 3(2), 61-78pp.

**S.A.R.H.**, (1981) , Dirección general de Información Agropecuaria Forestal y de Fauna Silvestre Informe técnico.

**S.A.R.H.**, Dirección general de Información Agropecuaria Forestal y de Fauna Silvestre Informe técnico , 1993.

**Saag L.M.K, Sanderson G., Moyna P. and Ramos G.**, (1975), Cactacea mucilage composition, Journal Sience Food Agriculture, 26, 993-1000pp.

**Sanderson, G.R.**, (1990), Gellan Gum in “Food Gels”, Elsevier Applied Science, 201-232pp.

**Sime, J.W.**, (1990), Alginates in“Food Gels”, Elsevier Applied Science, 53-78pp.

**Stanley N.F.**, (1990), Carrageenans, in Food Polymers, Gels and Colloids, Royal Society of Chemistry, 79-119pp.

**Soula Camille, Saint Jacques**, (1990) , Dictionary of reology, Institut de Mecanique Des Fluides Toulouse and Faculte de Medecine Cochin Port-Royal Paris. 21,35, 37,39pp.

**Szczesniak A.**, (1963), Classification of textural Characteristics, Journal of food Science, 28, 385-389pp.

**Therkelsen,G.H.**, (1983), Carragenan in Industrial Gums , Whistler R.L. BeMiller J.N. (eds), 3<sup>a</sup>.Edición ,Academic Press Inc.

**Trudso J.E.**, (1991), Hydrocolloids in Food additives, User’s Manual Smith J. (eds.), De. Van Nostrand Reinhold ,223-235pp.

**Totosaus A.**, (2007), Productos cárnicos emulsionados bajos en grasa y sodio, Nacameh vol 7, Num. 07, 53 -77pp.

**Tung M.A. Paulson , A.T.**, (1995), Rheological Concepts for Probing Ingredient interactions in Food systems, In Ingredient Interaction, Effects on food Quality, Gaonkar, G. A. (eds.) Marcel Dekker Inc. ,45-83pp.

**Villarreal, E., Rojas-Mendoza P., Arellano, V., y Moreno J.**, (1963), Estudio Químico sobre seis especies de nopales (*Opuntia spp*) , ciencia (México), 22(3), 59-65pp.

**Whistler, R.L.**, (1990), Function of Polysaccharides in food , Food Additives, Branen A.L. Davidson P.M. New York 395-423pp.

**Willians L.A.Clegg S.M. Day.D.H.,Philips, G., Nishinari K.**, (1991), Mixed Gels formed with Konjac, Mannan and Xanthan gum in Food Polymers, Gels an Colloinds Dickinson E.(ed.), the Royal Society of Chemistry , 339-348pp.