



Universidad de Chile

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas

Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química

Profesor Patrocinante:

Prof. Luis Puente Díaz  
Depto. Ciencia de los Alimentos  
y Tecnología Química

Director de Memoria:

Prof. Luis Puente Díaz  
Depto. Ciencia de los Alimentos  
y Tecnología Química

Prof. Eduardo Castro Montero  
Depto. Ciencia de los Alimentos  
y Tecnología Química

"OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO DE LA CÁSCARA DE LA TUNA (*Opuntia ficus-indica*) A PARTIR DE DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN"

Memoria para optar al título de Ingeniera en Alimentos

EVELYN ESTER JIMÉNEZ FERNÁNDEZ

Santiago, Chile  
2014

## INDICE GENERAL

TEMA	PÁGINA
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Tabla de contenidos.....	v
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras.....	ix
Índice de anexos.....	xii
Resumen.....	xiii
Summary.....	xiv

*Dedicado con amor a mis padres  
y hermanos, Juan y Daniel.*

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por todo el amor y el apoyo que me entregan día a día. A ellos debo todo lo que soy y lo que he logrado.

A mis hermanos, Daniel y Juan, por demostrarme que las metas se pueden alcanzar con esfuerzo y sacrificio.

A mis abuelas, porque con sus ejemplos he aprendido a enfrentar cada reto que se me ha presentado en la vida.

A mis amigos Alex, Felipe, Cami, Tami, Caro y Kata, quienes me acompañaron en toda esta etapa y me dieron su apoyo y cariño en todo momento.

A mis profesores Eduardo Castro y Luis Puente, por la ayuda que me entregaron para la realización de esta memoria y para crecer personal y académicamente. Cada palabra de enseñanza y aliento son agradecidas profundamente.

A Don Manuel, Don Carlos y Don Sergio, quienes tuvieron toda la disposición de ayudarme en todo lo necesario durante mis años en la Facultad y que siempre me recibieron y acompañaron de la forma más cálida en el laboratorio.

A Myli y Vicky por las conversaciones dentro y fuera del laboratorio que me animaron para seguir trabajando, y a Felipe por sacarme muchas sonrisas en estos últimos meses.

Y finalmente quiero agradecer a las personas que de una u otra forma estuvieron presentes y me ayudaron a terminar esta etapa.

Muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDOS

TEMA	PÁGINA
<b>I. Introducción</b> .....	1
<b>II. Marco teórico</b> .....	3
2.1.    Nopales: Origen y distribución.....	3
2.1.1.    Características de la planta .....	4
2.2.2.    Especies de <i>Opuntia</i> .....	5
2.2.3. <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	5
2.2.3.1.    Generalidades.....	5
2.2.3.2.    Descripción de los frutos .....	6
2.2.3.2.1.    Composición química de la cáscara de los frutos del <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	9
2.2.3.3.    El mucílago del <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	11
2.2.3.3.1.    Composición química.....	11
2.2.3.3.2.    Aplicaciones .....	13
2.2.3.3.3.    Valor nutricional .....	14
2.2.    Panorama del mercado global de los hidrocoloides .....	14
<b>III. Hipótesis del trabajo</b> .....	17
<b>IV. Objetivos</b> .....	17
4.1.    Objetivo General .....	17
4.2.    Objetivos específicos .....	17
<b>V. Materiales y Metodología</b> .....	18
5.1.    Lugar de ejecución .....	18
5.2.    Materia prima .....	18
5.3.    Materiales.....	18
5.4.    Plan de Trabajo .....	18
5.5.    Diagrama de Bloques de los procesos de extracción de mucílagos a partir de la cáscara de la tuna con y sin proceso de escaldado.	19

5.6.	Descripción de los métodos de obtención de mucílago.....	24
5.7.	Metodología de análisis.....	24
5.7.1.	Rendimiento del mucílago .....	24
5.7.2.	Análisis proximal.....	24
5.7.2.1.	Determinación de humedad .....	24
5.7.2.2.	Determinación de cenizas .....	24
5.7.2.3.	Determinación de grasas totales .....	24
5.7.2.5.	Determinación de carbohidratos totales .....	24
5.7.3	Caracterización fisicoquímica.....	25
5.7.3.1	Determinación de color.....	25
5.7.3.2	Determinación de Actividad de agua .....	25
5.7.3.3.	Determinación de pH .....	25
5.7.3.4	Determinación de Ángulo de reposo.....	26
5.7.3.5.	Determinación de tamaño de partícula .....	26
5.7.4.	Análisis microbiológicos.....	27
5.7.5.	Propiedades reológicas .....	27
<b>VI.</b>	<b>Resultados y Discusión .....</b>	<b>29</b>
6.1.	Rendimiento de la cáscara de la tuna .....	29
6.2.	Rendimiento del mucílago .....	29
6.3.	Análisis proximal .....	30
6.3.1.	Determinación de humedad.....	30
6.3.2.	Determinación de cenizas .....	30
6.3.3.	Determinación de grasas totales .....	31
6.3.4.	Determinación de proteínas.....	31
6.3.5.	Determinación de Carbohidratos totales.....	31
6.4.	Caracterización fisicoquímica.....	31
6.4.1.	Determinación de color.....	31
6.4.2.	Determinación de Actividad de agua .....	32
6.4.3.	Determinación de pH .....	33
6.4.4.	Determinación de Ángulo de reposo.....	33

6.4.5.	Determinación de tamaño de partícula .....	34
6.5.	Análisis microbiológicos .....	34
6.6.	Propiedades reológicas .....	34
6.6.1.	Ensayos en flujo estacionario .....	34
6.6.2.	Ensayos en flujo oscilatorio. ....	47
6.7.	Ficha técnica de productos .....	51
<b>VII.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>52</b>
<b>VIII.</b>	<b>Referencias</b> .....	<b>54</b>
<b>IX.</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>58</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
Tabla 1. Composición química de la pulpa de tuna cultivada en Chile.....	9
Tabla 2. Composición química de la cáscara de la tuna.....	10
Tabla 3. Composición química del mucílago de cladodio de <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	13
Tabla 4. Mercado de hidrocoloides alimenticios.....	15
Tabla 5. . Ecuaciones y datos experimentales correspondientes a diversos modelos reológicos obtenidos del análisis del mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas.....	37
Tabla 6. Coeficientes de correlación de modelos reológicos para mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas.....	37
Tabla 7. Ecuaciones y datos experimentales correspondientes a diversos modelos reológicos obtenidos del análisis del mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas.....	42
Tabla 8. Coeficientes de correlación de modelos reológicos para mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas.....	42



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>TABLA</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 1. Cultivo de nopales.....	3
Figura 2. Nopales y frutos de <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	6
Figura 3. Tuna, fruto del <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	7
Figura 4. Cáscara de la tuna, proveniente del <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	10
Figura 5. Propuesta de estructura parcial para el mucílago de <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	12
Figura 6. Diagrama de bloques de los procesos de extracción de mucílago.....	20
Figura 7. Mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas.....	29
Figura 8. Determinación de color de un mucílago de cáscaras de tuna no escaldadas y escaldadas.....	32
Figura 9. Determinación de Ángulo de reposo de un mucílago de cáscaras de tuna .....	33
Figura 10. Esfuerzo de corte versus velocidad de deformación en cizalla del mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas.....	35
Figura 11. Datos experimentales de esfuerzo de corte versus velocidad de deformación en cizalla junto a los modelos de Casson (lin), Herschel – Bulkley, Casson, Cross, Bingham y Ostwald de Waele.....	36
Figura 12. Datos experimentales de esfuerzo de corte versus velocidad de deformación en cizalla y el Modelo de Ley de la Potencia.....	38
Figura 13. Viscosidad aparente del mucílago de cáscaras de tunas no escaldadas en función de la velocidad de deformación en cizalla.....	39

Figura 14. Esfuerzo de corte versus velocidad de deformación en cizalla del mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas.....	40
Figura 15. Datos experimentales de esfuerzo de corte versus velocidad de deformación en cizalla junto a los modelos de Casson (lin), Herschel – Bulkley, Cross, Bingham y Ostwald de Waele.....	41
Figura 16. Datos experimentales de esfuerzo de corte versus velocidad de deformación y el Modelo de Ley de la Potencia.....	43
Figura 17. Viscosidad aparente del mucílago proveniente de cáscaras de tunas escaldadas en función de la velocidad de deformación.....	44
Figura 18. Viscosidad aparente de soluciones acuosas al 1% de mucílagos extraídos de cáscaras de tunas con y sin proceso de escaldado.....	45
Figura 19. Tixotropía presente en mucílagos extraídos de cáscaras de tunas no escaldadas.....	46
Figura 20. Tixotropía presente en mucílagos extraídos de cáscaras de tunas escaldadas.....	46
Figura 21. Evolución, a frecuencia constante, de los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdida ( $G''$ )' y el ángulo de desfase, con el tiempo en muestra de mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas no escaldadas.....	47
Figura 22. Módulos $G'$ y $G''$ en función de la frecuencia de oscilación en muestra de mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas no escaldadas.....	48
Figura 23. Evolución, a frecuencia constante, de los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdida ( $G''$ )' y el ángulo de desfase, con el tiempo en muestra de mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas escaldadas.....	49
Figura 24. Módulos $G'$ y $G''$ en función de la frecuencia de oscilación en muestra de mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas escaldadas..	50

Figura 25. Ficha técnica de mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas.....	51
Figura 26. Ficha técnica de mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas.....	51

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
Anexo 1. Selección de tunas en Supermercado Lider ®.....	58
Anexo 2. Proceso de pelado de tunas .....	58
Anexo 3. Extracción acuosa de cáscaras de tuna.....	58
Anexo 4. Precipitación con solvente.....	59
Anexo 5. Mucílago filtrado al vacío.....	59
Anexo 6. Mucílago secado en estufa.....	59
Anexo 7. Termo balanza PMC50/1 de la marca RADWAG.....	60
Anexo 8. AQUALAB 4TEV.....	60
Anexo 9. pH-metro Bench 2700 de la marca EUTECH INSTRUMENTS..	60
Anexo 10. Título V, Párrafo III, Artículo 173 “Especificaciones microbiológicas por grupos de alimentos”, para mezclas en seco de uso instantáneo.....	61
Anexo 11. Reómetro HAAKE RheoStress 1.....	61
Anexo 12. Modelos y ecuaciones para flujos No Newtonianos.....	62
Anexo 13. Fotografías por microscopía de partículas de mucílagos extraídos de cáscaras de tunas no escaldadas (izquierda) y escaldadas (derecha).....	62

## RESUMEN

“Obtención del mucílago de la cáscara de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) a partir de diferentes métodos de extracción”

En la actualidad, frutas y verduras están siendo consumidas en todas partes del mundo en diferentes formatos, generándose gran cantidad de subproductos, partes no comestibles del fruto, las cáscaras, los carozos, las semillas, etc. La utilización de estos subproductos se ha convertido en un punto principal para evitar la acumulación de desechos que provocan las industrias de alimentos y, a la vez, aumentar sus riquezas.

En el caso del fruto del nopal *Opuntia ficus-indica*, la cáscara es considerada su subproducto, y de esta es posible extraer un hidrocoloide comúnmente conocido como mucílago. Los hidrocoloides naturales pueden ser utilizados en las industrias dependiendo de las propiedades físico-químicas que posean.

Sobre este marco, el objetivo de este trabajo fue obtener mucílagos de la cáscara de la tuna proveniente del nopal *Opuntia ficus-indica* a partir de métodos de extracción con y sin escaldado.

Se llevaron a cabo dos métodos de extracción de mucílagos a partir de cáscaras de tunas no escaldadas y escaldadas. Luego de la obtención de ambos productos, se determinaron sus valores de humedad, cenizas, grasas, proteínas y carbohidratos totales. Junto a esto se hicieron análisis de color, actividad de agua, pH, ángulo de reposo, tamaño de partícula, ensayos microbiológicos y de reología. En base a los resultados obtenidos, se pudo concluir que ambos mucílagos son similares en sus características físico-químicas, como también en términos microbiológicos y reológicos. Esto indica que el proceso de escaldado de las cáscaras de la tuna puede ser omitido en la producción del mucílago.

## SUMMARY

“Mucilage extraction from peel of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) with different methods of extraction”

Nowadays, fruits and vegetables are being eaten in all over the world in different formats, generating a huge quantity of byproducts, inedible fruit parts like peel, pits, seeds, etc. The use of these byproducts have become in a main point to avoid the wastes accumulation that food industries produce.

In the case of fruit of *Opuntia ficus-indica*, the peel is considered its byproduct, and from this is possibly to extract a hydrocolloid commonly known like mucilage. The natural hydrocolloids can be important at industries, and it depending of their physical-chemicals properties.

On this framework, the aim of this work was obtain mucilage from fruits's peel of *Opuntia ficus-indica*'s fruits applied extraction methods.

Two extraction methods of mucilages were performed from peel of fruits of *O. ficus-indica* blanched and don't blanched. After to obtain both products, their values of moisture, ash, fat, proteins and total carbohydrate were determined. Additionally, analysis color, water activity, pH, angle of repose, particule size, microbiologies and rheological tests were made. It can be conclude that both mucilages are similar in their physicochemical, microbiological and rheological characteristics. This indicates that blanching of *Opuntia ficus-indica*'s fruit peel is able to omit in the mucilage production.

## I. Introducción

El procesamiento de muchas frutas resulta en una gran acumulación de sub-productos. Una apropiada utilización de estos sub-productos podría reducir los problemas que se han generado en la eliminación de residuos y, a la vez, servir como un nuevo recurso de grasas, proteínas y diferentes compuestos químicos en alimentos.

El nopal *Opuntia ficus-indica*, especie perteneciente al género *Opuntia* de la familia *Cactaceae*, tiene una distribución global y es un importante recurso de nutrientes y alimentos. Existen cerca de 1500 especies del género *Opuntia* y muchas de ellas producen frutos comestibles y altamente beneficiosos para la salud, ya que, a modo de ejemplo, la tuna es rica en calcio y fósforo, minerales fundamentales para la formación de huesos. Además, son una fuente interesante de fibra, pigmentos y vitaminas (Sáenz *et al.*, 2006). En los países mediterráneos, los cladodios no son consumidos usualmente por las personas, a diferencia de los frutos, ampliamente consumidos.

El nopal *Opuntia ficus-indica* es conocido entre los investigadores de esta planta por su producción de hidrocoloide comúnmente conocido como mucílago a partir de los cladodios y los frutos. Esta sustancia es un carbohidrato viscoso y complejo, el cual forma redes moleculares que son capaces de captar y retener grandes cantidades de agua. Este compuesto se presenta tanto en los cladodios como en la piel y pulpa de la fruta (Abraján, 2008).

Las propiedades reológicas que presenta la tuna se ven influenciadas por la presencia de mucílagos y pectinas. Estos compuestos pueden ser utilizados como espesantes en productos alimenticios (Sáenz *et al.*, 2006).

Información respecto a la composición química y los nutrientes del *Opuntia ficus-indica* ha sido publicada durante los últimos años (CEZA, 2011; Sáenz *et al.*, 2006;

Valdez *et al.*, 2008). Sin embargo, los estudios son carentes respecto a los componentes de la cáscara de la tuna y, a pesar de que la piel constituye cerca de un 40% de la fruta entera y, por consiguiente es el principal sub-producto y no se detallan de forma amplia datos respecto a la composición química de estos.

Dependiendo de las características que posea el mucílago de la cáscara de tuna, este podría integrar la oferta de una gran gama de espesantes de amplio uso en la industria de alimentos y farmacéutica, compitiendo con gomas de gran uso como la goma Garrofin, la goma Guar u otros agentes espesantes.

Actualmente, una de las principales necesidades de la industria de la tuna es el desarrollo de nuevos productos a partir de ésta y de sus sub-productos. Esto, sumado al hecho de que la demanda por hidrocoloides naturales ha ido aumentando considerablemente debido a que estos se consideran ingredientes principales en alimentos líquidos y semisólidos, hace fundamental estudiar el mucílago proveniente de la cáscara de este fruto.



## II. Marco teórico.

### 2.1. Nopales: Origen y distribución.

Los nopales, del género *Opuntia*, son originarios de América tropical y subtropical y hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano. Además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre (Sáenz *et al.*, 2006)

Los nopales pertenecen a la familia *Cactaceae*. La taxonomía de los nopales es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre otras porque sus fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales.

Esta especie una vez introducida en España desde México, se distribuyó de forma silvestre o cultivada por toda la cuenca del Mediterráneo: Francia, Grecia, Italia y Turquía, llegando hasta Israel. Los árabes la llevaron desde España a África, difundiéndose en Argelia, Egipto, Eritrea, Etiopia, Libia, Marruecos y Túnez. Sin embargo, su distribución es aún mayor; en el continente americano, se encuentra en Chile, Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Estados Unidos de América, México, Canadá, Perú, y Venezuela y varios países de América Central y el Caribe; en otros continentes se encuentra en Angola y Sudáfrica, en Australia y la India (Sáenz *et al.*, 2006).

En la Figura 1 se aprecia un cultivo de nopales.



Figura 1. Cultivo de nopales. Morelos, México (2013).

### 2.1.1. Características de la planta.

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3,5 a 5 m de altura. Su tronco es leñoso y mide entre 20 y 50 cm de diámetro. Sus ramas están formadas por cladodios de 30 a 60 cm de largo por 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor. El cladodio fresco recibe el nombre de nopalito y el adulto de penca (Sáenz *et al.*, 2006).

Sobre ambas caras del cladodio se presentan las yemas, llamadas areolas, que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces aéreas según las condiciones ambientales. Las areolas presentan en su cavidad espinas grandes y pequeñas. Las flores son sésiles, hermafroditas y solitarias, se desarrollan normalmente en el borde superior de las pencas (Sáenz *et al.*, 2006). En la mayor parte del mundo la planta florece una vez al año, sin embargo, en Chile, bajo ciertas condiciones ambientales y con suministro de agua en verano, se presenta una segunda floración en marzo, que da origen a la llamada fruta “inverniza”.

El fruto del nopal es una baya falsa con ovario ínfero simple y carnoso. La forma y tamaño de los frutos es variable: Hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos. Los colores son diversos: Hay frutos rojos, anaranjados, purpuras, amarillos y verdes, con pulpas también de los mismos colores. La epidermis de los frutos es similar a la del cladodio, incluso con areolas y espinas que persisten aún después de la sobre madurez del fruto. La cáscara de los frutos difiere mucho en grosor, siendo también variable la cantidad de pulpa. Esta última presenta numerosas semillas, que se consumen junto con la pulpa (Sáenz *et al.*, 2006).

Cuando el hombre entra en contacto con la planta *Opuntia*, las espinas que esta posee se pueden desprender y penetrar en la piel, constituyendo un serio

inconveniente tanto para la cosecha de los frutos como para el procesamiento y consumo de los mismos.

### 2.2.2. Especies de *Opuntia*.

Se conocen casi 300 especies del genero *Opuntia*. Sin embargo, hay solo 10 o 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre. Algunas especies son ampliamente utilizadas para producción de fruta, por la calidad de la misma; es el caso de *Opuntia ficus-indica*, *O. Hyptiacantha*, *O. Megacantha* y *O. Streptacantha*. Algunas de estas producen frutas de diversos colores, lo que constituye un atractivo adicional para los consumidores. Otras especies son más aptas para la producción de nopalitos, como *O. robusta* y *O. Leucotricha*, además de *O. ficus-indica*. Un gran número de especies se puede utilizar para producir forraje, entre ellas, *O. robusta* y *O. Leucotricha*, además de *O. ficus-indica* y otras para producción de cochinilla (Sáenz *et al.*, 2006).

Las características de las distintas especies de nopales son variables, diferenciándose en la forma de los cladodios, en la presencia o ausencia de espinas, en el tamaño y color de los frutos, entre otras. De las especies citadas, la más ampliamente cultivada en distintas partes del mundo es *Opuntia ficus-indica*.

### 2.2.3. *Opuntia ficus-indica*.

#### 2.2.3.1. Generalidades.

Uno de los mayores atractivos del *Opuntia* es su anatomía y morfología adaptada a condiciones de fuerte estrés ambiental, por lo que son una alternativa de cultivo para regiones donde difícilmente crecen otras especies. Sus capacidades para resistir altas temperaturas y periodos prolongados de sequía las

hace especialmente atractivas para las zonas áridas y semiáridas. (Sáenz *et al.*, 2006).

*O. ficus-indica* puede diferenciarse de todos los otros miembros del género por presentar la combinación de las siguientes características: Cladodios usualmente elípticos, de gran tamaño, carentes total o casi totalmente de espinas; con frutos grandes, dulces y carnosos, como se aprecia en la figura 2, y por encontrarse exclusivamente en ambientes modificados.



Figura 2. Nopales y frutos de *Opuntia ficus-indica*.

Las variedades del *Opuntia ficus-indica* se diferencian principalmente en cuatro grupos por el color de la cáscara y la pulpa del fruto: cáscara verde amarilla y pulpa blanca, cáscara amarilla anaranjada y pulpa naranja, cáscara verde-roja y pulpa roja; y cáscara y pulpa púrpura (CEZA, 2011).

#### 2.2.3.2. Descripción de los frutos

El desarrollo en diámetro del fruto es del tipo doble sigmoideo y el período de floración a madurez se extiende por 100 días. En Chile e Israel existe producción de fruta en verano e invierno, donde los frutos de verano tardan 80-85 días entre

flor y fruto maduro, mientras que en invierno el proceso toma 130-135 días (CEZA, 2011).

La composición de los frutos varía con la madurez. Es necesario tener en cuenta que son frutos no climatéricos, por lo que es fundamental cosecharlos con madurez de consumo. Los sólidos solubles totales, SST, aumentan rápidamente cuando la pulpa comienza a crecer. Cuando se inicia el cambio de color de la cáscara, el contenido de SST es de 85-90% del que alcanza un fruto maduro. Los SST aumentan ligeramente en frutos completamente maduros, pero en esta etapa ya no son adecuados para almacenamiento y están muy blandos para el manejo. Los SST y vitamina C aumentan considerablemente durante el proceso de maduración, mientras que la firmeza y la acidez se reducen.



Figura 3. Tuna, fruto del *Opuntia ficus-indica*.

El fruto, observado en la Figura 3, se compone de tres estructuras que determinan su calidad:

- La pulpa.

La pulpa, porción comestible del fruto, se origina de células papilares de la epidermis dorsal de la envoltura funicular y el funículo. La envoltura funicular contribuye con 90% de la parte comestible y el funículo con el 10%. Los ácidos orgánicos están presentes en rangos muy bajos y prácticamente no influyen en el

sabor (0,01-0,12 % de ácido cítrico y 0,02-0,06% de ácido málico). La pulpa se compone mayoritariamente de agua (83%). Durante la cosecha los rangos de sólidos solubles fluctúan entre 10-17 °Brix, siendo el óptimo 13-15 °Brix. (CEZA, 2011).

- Las semillas.

Las semillas son de forma discoidal, poseen testa reticulada y arilo lateral angosto. Se encuentran de 100 a más de 400 semillas por fruto, con diámetro de 3 a 4 mm. Se han encontrado correlaciones positivas entre el contenido de semillas (número y peso) y el peso total de la fruta, indicando que el mayor tamaño de la fruta está relacionado con el mayor número de semillas (CEZA, 2011).

- La cáscara.

La cáscara corresponde a la parte no comestible del fruto, por lo que a menor peso de esta, mayor será la calidad del fruto. Durante la primera semana después de floración es mayor el crecimiento de la cáscara que el del tejido que origina la pulpa, situación que luego se revierte y el lóculo empieza a expandirse, especialmente los últimos 30 días del desarrollo del fruto, por lo que es fundamental el aporte hídrico en esta etapa (CEZA, 2011).

Estudios realizados por varios autores indican que el porcentaje de cáscara es variable de acuerdo a las zonas de cultivo. Sepúlveda y Sáenz (1990) encontraron que en el caso de *O. ficus-indica* cultivada en Chile, el porcentaje de cáscara era de 50,5% y 49,6% de parte comestible (pulpa y semilla) de la cual 78,9% correspondió a pulpa y 20,1% a semillas.

En la siguiente tabla se presenta la composición química obtenida del análisis realizado por Sáenz de tunas cultivadas en Chile.

Tabla 1. Composición química de la pulpa de tuna Cultivada en Chile.

<b>Parámetros (%)</b>	<b><i>Opuntia ficus-indica</i></b>
Humedad	83,8
Proteína	0,82
Grasa	0,09
Fibra	0,23
Ceniza	0,44
Azúcar total	14,06
Vitamina C (mg/100 g)	20,33
B-caroteno (mg/100 g)	0,53 (g/100 g)
pH	6,37
Acidez (% Ac. Cítrico)	0,06
Brix (SST)	14,06
Sólidos totales	16,20
Pectina	0,17

(Sepúlveda y Sáenz, 1990)

El agua es el componente principal de la fruta y por ello uno de sus mayores atractivos para las zonas áridas y semiáridas; el agua se encuentra protegida por la cáscara gruesa, rica en mucilagos que la retienen fuertemente y contribuyen a la baja deshidratación de la fruta.

#### 2.2.3.2.1. Composición química de la cáscara de los frutos del *Opuntia ficus-indica*.

La tabla 2 muestra la composición química promedio de la cáscara de frutos de *O. ficus indica*, la cual revela una cantidad importante de minerales, grasas y ceras.

Tabla 2. Composición química de la cáscara de la tuna.

Componentes	% en peso seco
Cenizas	11,5
Grasas y ceras	11,0
Lignina	2,4
Proteína (Nx 6.25)	8,6
Mucílago	4,1
Otros Polisacáridos	35,0
Celulosa	27,0

(Habibi *et al.*, 2004)

El género *Opuntia* es caracterizado por la producción de un hidocoloide comúnmente conocido como mucílago, el cuál forma redes moleculares que son capaces de captar y retener grandes cantidades de agua (Sáenz *et al.*,2004). Este compuesto se presenta tanto en los cladodios como en la piel y pulpa de la fruta (Abraján, 2008).



Figura 4. Cáscara de la tuna, proveniente del *Opuntia ficus-indica*.



### 2.2.3.3. El mucílago del *Opuntia ficus-indica*

El mucílago proveniente del *Opuntia* se considera un hidocoloide natural ya que, tal como las gomas comerciales Carragenina y goma Guar, tiene su origen en extractos de plantas. Es una sustancia gomosa, espesa y proporciona al cactus la capacidad natural de almacenar grandes cantidades de agua. Al momento de entrar en contacto con el agua, el mucílago se hincha, presentando propiedades tensioactivas similares a diversas gomas naturales, dándole al mucílago una habilidad para precipitar partículas y iones de soluciones acuosas.

#### 2.2.3.3.1. Composición química

El mucílago de *Opuntia Ficus-indica* es un carbohidrato complejo compuesto por más de 55 azúcares residuales, entre los que se encuentran la L-arabinosa, D-galactosa, L-Ramnosa, D-Xilosa y ácido Galacturónico.

McGarvie y Parolis, en 1981 encontraron que el mucílago del nopal está compuesto por una familia de polisacáridos altamente ramificados. Ellos consideran una estructura de unidades de ácido  $\alpha$ -D-galacturónico unidas 1→2 a unidades de  $\beta$ -L-ramnosa enlazadas 1→4 con ramificaciones en el C-4, las ramificaciones de oligosacáridos de galactosa las cuales llevan L-arabinosa y D-xilosa como sustituyentes (Sáenz *et al.*, 2004).

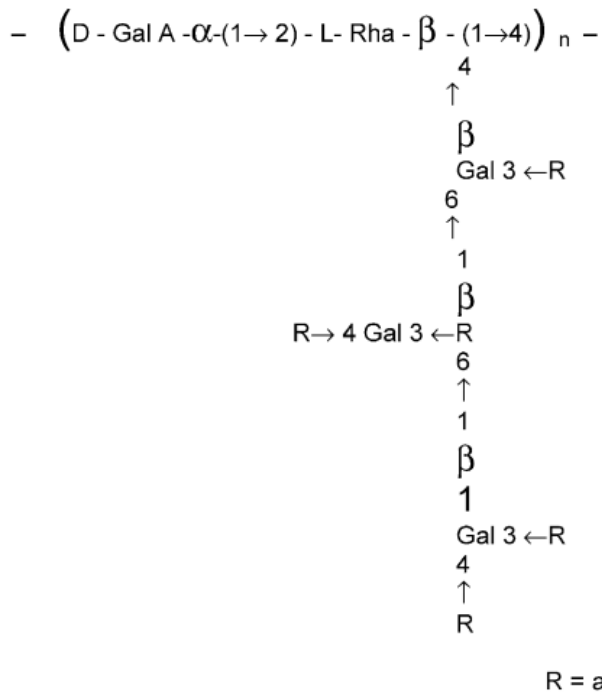


Figura 5. Propuesta de estructura parcial para el mucílago de *Opuntia ficus-indica* (Sáenz *et al.*, 2004).

La proporción de los monómeros en la molécula varía de acuerdo a diversos factores de la planta, como: Variedad, edad, condiciones ambientales y estructura de extracción empleada (fruto, cáscara, cladodio) (Abraján, 2008).

El peso molecular del mucílago ha sido obtenido por diferentes investigadores, con variados resultados, probablemente debido a las diferencias en las técnicas de extracción y la posibilidad de contaminantes. En 1981, Trachtenberg y Mayer determinaron un peso molecular de  $4,3 \times 10^6 \text{ g mol}^{-1}$ , pero un estudio realizado por Cárdenas *et al.*, en 1997, indicó un valor de  $3 \times 10^6 \text{ g mol}^{-1}$ , y en el 2000, Medina-Torres *et al.*, un valor de  $2,3 \times 10^5 \text{ g mol}^{-1}$ .

En la siguiente tabla se muestra la composición química del mucílago proveniente del cladodio de *Opuntia ficus-indica* por medio de extracción con Isopropanol

Tabla 3. Composición química del mucílago de cladodio de *Opuntia ficus-indica*

Parámetros	g/100 g muestra
Humedad	5,5 ± 1,1
Proteína	6,1 ± 0,7
Cenizas	39,1 ± 2,4
Nitrógeno	1,0 ± 0,1
Ca	12,7 ± 1,6
K	2,0 ± 0,3

(Sepúlveda *et al.*, 2007)

#### 2.2.3.3.2. Aplicaciones

Este mucílago se puede utilizar como aditivo en la industria de alimentos, por su propiedad espesante, su gran capacidad de adsorción de agua, de formar geles, como reemplazante de grasas en diversos alimentos, ligante de sabor, agente emulsificante, mejorador de textura, estabilizador de suspensiones, inhibidor de sinéresis y con el que se pueden crear películas comestibles (Valdez *et al.*, 2008). Como ejemplo de usos no relacionados a la alimentación, y que se conocen desde hace siglos, está la utilización de pencas en la clarificación de aguas, su adición a la cal como adherente de pintura o su introducción en el suelo para aumentar la infiltración de agua (Valdez *et al.*, 2008).

Los hidrocoloides naturales, como los mucílagos o las gomas provenientes de exudados de semillas o tallos, pueden ser usados como fibra dietaria, modificadores de textura, agentes gelificantes, estabilizantes, emulsionantes, etc. Las propiedades fisicoquímicas y funcionales que presentan las diferentes gomas, están influenciadas por la composición química, estructura molecular, extracción, además de las condiciones de procesamiento.

Su utilización en ciertos productos alimenticios está aumentando debido tanto a sus propiedades funcionales (viscosidad, gelificación, fijación de agua) como a sus roles bioactivos en la prevención o tratamiento de ciertas enfermedades (Milani y Maleki, 2012).

#### 2.2.3.3.3. Valor nutricional

El mucílago es parte de la fibra dietaria soluble, y generalmente referido a algunas partes de las frutas, vegetales, granos, frutos secos y legumbres que no pueden ser digeridos por los humanos.

Las fibras solubles tienen diversos efectos beneficiosos para la salud, entre los que se encuentran la sensación de saciedad, disminución del tránsito intestinal, retraso en la absorción de la glucosa y el colesterol, y mantenimiento y desarrollo de la flora intestinal (Hernández y Sastre, 1999).

#### 2.2. Panorama del mercado global de los hidrocoloides

El mercado global de los hidrocoloides ha ido en aumento considerablemente debido a la creciente demanda de los consumidores conscientes de su salud por productos alimenticios sanos y naturales. Los hidrocoloides son utilizados en diferentes industrias tales como del aceite, de los alimentos, farmacéuticas, etc. El extenso rango de funciones mostrado por los hidrocoloides en la industria alimentaria es una gran fuerza motriz en el mercado (Seisun, 2012).

Los hidrocoloides en el área de alimentación pueden ser divididos en tres segmentos, basados en valores generales alcanzados en el año 2010. Almidones y gelatinas están en la categoría mayor con 1 billón de dólares en ventas de cada uno. El segundo grupo incluye cinco hidrocoloides con ventas entre 200-700 millones de dólares, y el resto son aquellos con ventas menos a 200 millones de dólares, como se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Mercado de Hidrocoloides alimenticios.

<b>Hidrocoloide</b>	<b>\$ Millón de ventas</b>	<b>% del total de ventas de hidrocoloides</b>
Almidones	1275	25
Gelatina	1030	21
Pectina	658	13
Carragenina	561	11
Xhantan	277	6
Alginatos	272	5
Agar	219	4
CMC (Carboximetilcelulosa)	169	3
Arábica	147	3
Guar	94	2
MCC (Celulosa microcristalina)	91	2
LBG (Algarrobo)	85	2
MC/HPMC (Metil celulosa e Hidroxipropil Metil Celulosa)	80	2
Otros	51	1
Total	5.008	100

(Seisun, 2012)

El mercado global de los hidrocoloides en el área de alimentación está proyectado a alcanzar ventas de 7 millones de dólares. En 2012, Norte América dominó el mercado global de hidrocoloides (Seisun, 21012)

La demanda por hidrocoloides está creciendo en mercados emergentes, tales como India y China debido a cambio en el estilo de vida y la preferencia por nuevos productos alimenticios. Asia-Pacífico es la región que crece más rápidamente en términos del mercado de hidrocoloides. Este mercado es dominado por la gelatina en términos de valor y volumen. (Prepared Foods, 2013).

Actualmente, el mercado de hidrocoloides aplicado en alimentos está siendo dominado por la confitería. Los personajes más importantes en la distribución de hidrocoloides para alimentos han estado envueltos en la expansión de nuevas unidades de fabricación para mejorar su alcance global y satisfacer la creciente demanda de hidrocoloides en varios países (Seisun, 2012).

### **III. Hipótesis del trabajo**

El método de extracción aplicado para la producción del mucílago de la cáscara de la tuna influye en el rendimiento y las características fisicoquímicas y reológicas del hidrocólide obtenido.

### **IV. Objetivos**

#### 4.1. Objetivo General

Obtener el mucílago de la cáscara de la tuna proveniente del nopal *Opuntia ficus-indica* a partir de métodos de extracción con y sin escaldado.

#### 4.2. Objetivos específicos

- ❖ Llevar a cabo dos métodos de extracción del mucílago de la cáscara de tuna.
- ❖ Determinar las características físicas y químicas de los mucílagos luego del proceso de secado.
- ❖ Determinar las propiedades reológicas de los mucílagos obtenidos.
- ❖ Determinar el método óptimo de extracción del mucílago en base a los resultados obtenidos.

## **V. Materiales y Metodología.**

### 5.1. Lugar de ejecución.

La preparación de las materias primas, la elaboración de los productos, los análisis fisicoquímicos, ensayos reológicos y ensayos microbiológicos, se realizaron en el laboratorio de Procesos de Alimentos del Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile.

### 5.2. Materia prima.

Para realizar este proyecto se recolectaron tunas provenientes de la especie *O. ficus indica*, cosechadas de la zona central de Chile.

Las tunas utilizadas son del calibre B, según la norma del CODEX para la tuna (CODEX STAN 186-1993), ya que los pesos de estas se encuentran en el rango 105 - 140 gramos.

### 5.3. Materiales.

Material de laboratorio (vasos precipitados, tubos centrífuga, espátulas, pipetas graduadas, entre otros materiales de uso general)

### 5.4. Plan de Trabajo.

En este trabajo se busca realizar el método simple de extracción de mucílago que será modificado con la incorporación de la etapa de escaldado. El objetivo de modificar este procedimiento es obtener un producto lo más blanco posible. Por lo tanto, los mucílagos obtenidos se analizarán en cuanto a sus características físicas y químicas, y serán diluidos para determinar sus propiedades reológicas.



En función de los resultados adquiridos, se determinará el procedimiento óptimo de extracción del mucílago proveniente de la cáscara de tuna.

5.5. Diagrama de Bloques de los procesos de extracción de mucílagos a partir de la cáscara de la tuna con y sin proceso de escaldado.

La figura siguiente muestra las etapas del proceso de extracción de los mucílagos a partir de las cáscaras de tunas escaldadas y no escaldadas.

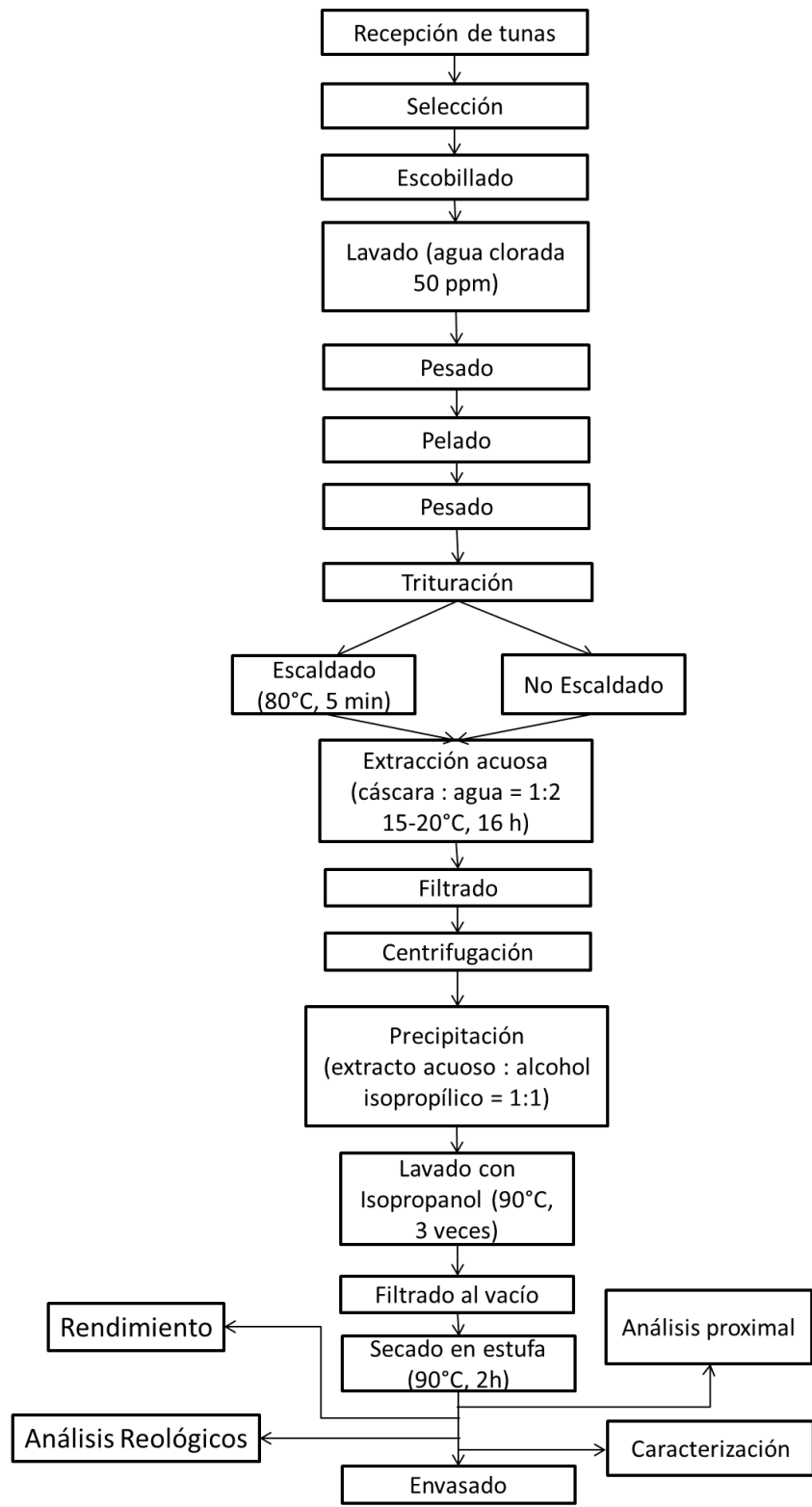


Figura 6. Diagrama de bloques de los procesos de extracción de mucílagos.

## 5.6. Descripción de los métodos de obtención de mucílago.

La diferencia entre ambos métodos de extracción a realizar es la adición del proceso de escaldado en uno de ellos.

### 1. Recepción de tunas.

Las tunas provenientes de la zona central de Chile se recibieron e inspeccionaron visualmente para verificar su buena calidad (apariencia general). El paso siguiente fue almacenar la materia prima en un medio controlado (refrigerado o congelado), de manera de evitar futuras alteraciones del producto (Anexo N°1).

### 2. Selección.

En esta etapa se seleccionaron las tunas que presentaban una cáscara de calidad óptima, es decir, de coloración verde y sin manchas, para la elaboración del hidrocoloide.

### 3. Escobillado.

Las cáscaras de la tuna fueron escobilladas para eliminar las espinas presentes en éstas y además facilitar su manipulación.

### 4. Lavado.

La limpieza del exterior de las tunas se realizó mediante el proceso de inmersión en agua clorada 50 ppm, con el fin de eliminar residuos, materias extrañas, polvo y microorganismos que puedan estar adheridos a las tunas.

### 5. Pesado.

Las tunas fueron pesadas antes de ser peladas.

## 6. Pelado.

Las tunas fueron peladas manualmente con cuchillo con el fin de separar la pulpa de la cáscara, y así obtener el hidocoloide a partir de este último (Anexo N°2).

## 7. Pesado.

Las cáscaras de tuna fueron pesadas para, al obtener el hidocoloide, determinar el rendimiento.

## 8. Trituración.

Luego de pasar por los tratamientos anteriormente mencionados, las cáscaras del fruto del nopal fueron trituradas hasta obtener un tamaño uniforme.

## 9. Escaldado.

Esta etapa fue aplicada solo en uno de los métodos de extracción. El producto triturado fue escaldado con vapor, siendo sometido a 80°C durante 5 minutos.

## 10. Extracción acuosa.

Las cáscaras de tuna previamente trituradas y escaldadas fueron inmersas en agua en una proporción cáscara: agua = 1:2 con el fin de extraer el mucílago y se mantuvo a 15-18°C por 5 horas (Anexo N°3).

## 11. Filtrado.

El producto se filtró por medio de un colador para separar los trozos gruesos de cáscara.

## 12. Centrifugación.

El producto filtrado se centrifugó a 3500 rpm a fin de separar al máximo el mucílago extraído de las impurezas (paredes celulares u otras) de la cáscara.

## 13. Precipitación.

Al extracto de mucílago concentrado se le agregó alcohol isopropílico en proporción extracto: alcohol = 1:1 (Anexo N°4).

## 14. Lavado con Isopropanol.

El mucílago precipitado fue lavado con Isopropanol a 90°C, repitiendo esta operación 2 veces.

## 15. Filtrado al vacío.

Luego del lavado, la mezcla fue filtrada al vacío con el fin de separar el mucílago del alcohol (Anexo N°5).

## 16. Secado.

El mucílago se sometió a secado en estufa a 90°C por 2 horas aproximadamente (Anexo N°6).

## 17. Envasado.

Las muestras obtenidas fueron envasadas en bolsas de polietileno para sus análisis posteriores.

## 5.7. Metodología de análisis.

### 5.7.1. Rendimiento del mucílago.

El rendimiento de los productos se determinó en peso seco. El resultado fue expresado como porcentaje de mucílago respecto a la cantidad inicial de cáscaras de tuna utilizadas.

### 5.7.2. Análisis proximal.

#### 5.7.2.1. Determinación de humedad.

La humedad de los mucílagos obtenidos se determinó utilizando la termo balanza PMC50/1 de la marca RADWAG (Anexo N°7).

#### 5.7.2.2. Determinación de cenizas.

El contenido de cenizas se obtuvo calcinando cada mucílago en una mufla a una temperatura de 550° C hasta peso constante (A.O.A.C., 1984).

#### 5.7.2.3. Determinación de grasas totales.

La cantidad de grasas totales en los mucílagos se determinó mediante el método de Bligh and Dyer (Egan *et al.*, 1988).

#### 5.7.2.4. Determinación de proteínas.

El contenido de proteínas de ambos mucílagos se obtuvo aplicando el método Kjeldhal (A.O.A.C., 1984).

#### 5.7.2.5. Determinación de carbohidratos totales.

La cantidad de carbohidratos totales en ambos mucílagos se determinó por diferencia de peso.

### 5.7.3. Caracterización fisicoquímica.

#### 5.7.3.1. Determinación de color.

A través del sistema color CIELAB se determinaron los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del mucílago. Este sistema es considerado versátil y de fácil acceso para la medición de color en un producto alimenticio. El  $L^*a^*b^*$  consiste de un componente de luminosidad (valor  $L^*$ , entre 0 y 100), y dos componentes cromáticos,  $a^*$  (de verde a rojo) y  $b^*$  (de azul a amarillo) (HunterLab, 2012). Para ambos mucílagos, estas mediciones se hicieron en triplicado y se obtuvo el promedio de cada uno.

#### 5.7.3.2. Determinación de actividad de agua.

La actividad de agua de cada mucílago se obtuvo a través de la lectura en el equipo AQUALAB 4TEV a 25°C (Anexo N° 8).

#### 5.7.3.3. Determinación de pH.

La mayoría de los alimentos presentan niveles de pH en un rango entre 2 y 7. Los microorganismos presentan pH óptimos, máximos y mínimos de crecimiento, por debajo de los cuales no se desarrollan, aunque pueden quedar viables.

Las bacterias suelen crecer mejor en condiciones cercanas a la neutralidad (pH 6-7), mientras que los mohos pueden tolerar pH más bajos y crecer incluso en alimentos a pH 2 y 3, mientras que las levaduras pueden crecer a pH intermedios.

El pH de cada mucílago se determinó a través del método potenciométrico utilizando el pH-metro Bench 2700 de la marca EUTECH INSTRUMENTS (Anexo N°9).

#### 5.7.3.4. Determinación de ángulo de reposo.

El ángulo de reposo se determinó agregando los mucílago en un embudo (45°) colocado a una altura de 10 centímetros sobre una placa de petri de base 9 centímetros, y midiendo el ángulo entre el cono formado por el mucílago y la superficie de la placa, al concluir el proceso de caída (Cerezal *et al.*, 2008).

#### 5.7.3.5. Determinación de tamaño de partícula

La funcionalidad del hidrocoloide en la mayoría de los productos alimenticios comienza con la disolución completa de este. El tamaño de partícula o malla es un punto fundamental que influye en la solubilidad. El principio básico es que las partículas de mayor tamaño, correspondiente a un tamaño de malla 40-80 mesh, tardan más tiempo en disolverse ya que el agua tarda más en penetrar la partícula de hidrocoloide seco. En una partícula de tamaño más pequeño, el agua tarda menos en penetrar al hidrocoloide y solubilizarlo completamente.

Cuando se determina el tamaño de un sólido relativamente grande, habitualmente se miden tres dimensiones, pero si este sólido se rompe y sus fragmentos se trituran, las partículas pequeñas serán irregulares, lo cual dificulta determinar más de una dimensión (Archbold, 2014).

Para efectos prácticos, se considera que una partícula de un sólido es aproximadamente esférica, por lo que se puede caracterizar midiendo su diámetro. Esta dimensión se conoce como “diámetro equivalente”, ya que está referida a una esfera hipotética, representación aproximada de la verdadera partícula (Archbold, 2014).

La distribución del tamaño de partícula de ambos mucílago se realizó por el método basado en la microscopía, utilizando la cámara 500X Series Digital Microscope. Con el analizador de imágenes AxioVision V 4.8.1.0. se determinó el diámetro equivalente promedio de 10 partículas por fotografía de cada uno de los mucílago elaborados.



#### 5.7.4. Análisis microbiológicos

Los análisis microbiológicos contemplaron un recuento de Aerobios Mesófilos. Estos análisis se realizaron mediante el uso de Placas Petrifilm 3M. Los resultados se evaluaron según lo que estipula el Reglamento Sanitario de Los Alimentos, Título V, Párrafo III, Artículo 173 “Especificaciones microbiológicas por grupos de alimentos”, para mezclas en seco de uso instantáneo (Anexo N°10).

#### 5.7.5. Propiedades reológicas

Las determinaciones reológicas en modo rotacional y oscilatorio se llevaron a cabo en el reómetro HAAKE RheoStress 1 (Anexo N°11). El estudio de los comportamientos viscosos de estas soluciones se llevó a cabo fijando la temperatura y la concentración. Los mucílagos se diluyeron al 1%, a 25°C y se realizaron pruebas de reometría estacionaria y dinámica.

Según los resultados de las pruebas de reometría estacionaria se evaluará si el fluido presenta un comportamiento Newtoniano o No Newtoniano, el modelo reológico que mejor lo representa y, según los valores de viscosidad a través del tiempo de deformación, si el fluido presenta una histéresis.

Para evaluar si los mucílagos analizados presentan un comportamiento Newtoniano o No newtoniano fue necesario determinar si existe una proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación del fluido.

Un fluido newtoniano se caracteriza por cumplir la Ley de Newton, es decir, que existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante  $\sigma$ , y la velocidad de deformación  $\dot{\gamma}$ . Esto es debido a que la viscosidad,  $\eta$ , es constante para este tipo de fluidos y no depende del esfuerzo cortante aplicado (Ec. 1) (Silva, 2010).

$$\eta = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

En el caso en que el fluido sea No Newtoniano, será necesario determinar el modelo reológico que más se acerca a su comportamiento. De acuerdo a la complejidad del sistema pueden aplicarse modelos simples, de dos parámetros o modelos complejos. En el primer grupo se encuentran los modelos de Bingham, Ostwald de Waele y Herschel-Bulkley, y en el segundo grupo los modelos de Cross, Carreau y Sisko (Anexo N°12)

Con los ensayos en flujo oscilatorio se determinarán las propiedades viscoelásticas de los mucílagos, evaluando los módulos de almacenamiento y pérdida,  $G'$  y  $G''$ , el ángulo de desfase y la frecuencia de oscilación.

## VI. Resultados y Discusión.

### 6.1. Rendimiento de la cáscara de la tuna.

El porcentaje promedio de cáscara de las tunas respecto al fruto completo fue de 45,8%, con valores entre 32,7 y 59,3%

### 6.2. Rendimiento del mucílago.

El rendimiento de mucílago extraído de cáscaras de tuna no escaldadas fue en promedio de un  $0,237 \pm 0,118\%$ , con valores que variaron de 0,0985 a 0,445%. En el caso del mucílago proveniente de cáscaras de tunas escaldadas, el rendimiento promedio fue de un  $0,200 \pm 0,131\%$ , con valores entre 0,017 y 0,377%.

Estudios realizados por Sáenz *et al.* (1992) reportaron que el rendimiento de mucílago a partir de las cáscaras de tunas fue de un 1%. Este valor puede variar debido a que el rendimiento de los mucílagos es dependiente del método utilizado para la extracción (Sepúlveda *et al.*, 2007).

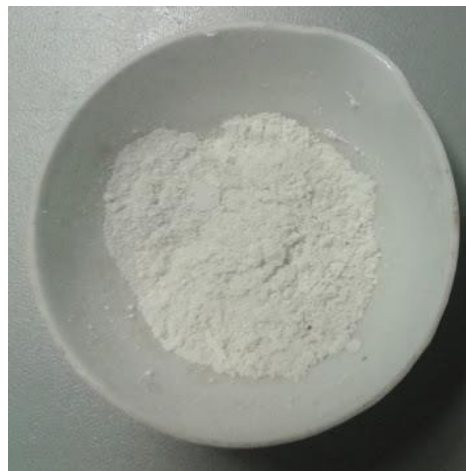


Figura 7. Mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas.

### 6.3. Análisis proximal.

#### 6.3.1. Humedad.

El mucílago obtenido de cáscaras de tunas no escaldadas presentó una humedad del 12,957%, mientras que el mucílago obtenido de cáscaras de tunas escaldadas, una humedad del 14,632%.

La humedad se considera como uno de los factores con los que se relaciona la reproducción de patógenos y que afectan la calidad del producto, por lo que es importante comparar los valores de humedad de los mucílagos obtenidos, con los mucílagos que se pueden encontrar en el mercado y son considerados de buena calidad.

Las gomas comerciales presentan diferentes húmedas. Así es como, la Goma Guar posee una humedad aproximada de 9%, mientras que la Goma Arábica y Tara presentan una humedad máxima de 15% (Gomas naturales, 2014). Según estos datos, las humedades de los mucílagos obtenidos se encuentran dentro del rango aceptable de humedad de las gomas que actualmente se venden en el mercado.

#### 6.3.2. Cenizas.

Las cenizas, residuo inorgánico de una muestra, están constituidas por óxidos, carbonatos, fosfatos y sustancias minerales.

El mucílago a partir de cáscaras de tunas no escaldadas mostró un 9,64% de cenizas, mientras que el mucílago proveniente de cáscaras de tunas escaldadas presentó un 7,36% de cenizas.

Estos valores son altos en comparación a lo que es posible encontrar en un mucílago comercial, como es el caso de la Goma Guar que posee un 0,7% máximo de cenizas.

### 6.3.3. Grasas totales.

Las grasas totales del mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas fueron 0,73%. En el caso del mucílago de las cáscaras de tunas escaldadas, este presentó 1,03% de grasas.

### 6.3.4. Proteínas.

Las proteínas del mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas no escaldadas conforman el 7,8% del total de la muestra, en cambio, en el mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas este valor corresponde a un 9,11%.

### 6.3.5. Carbohidratos totales

Los carbohidratos totales están referidos a la cantidad de carbohidratos más la fibra que se encuentra en el producto analizado.

La cantidad de carbohidratos totales que contienen los mucílagos extraídos de las cáscaras de tuna no escaldadas y escaldadas es de un 68,93% y 67,86%, respectivamente.

## 6.4. Caracterización fisicoquímica

### 6.4.1. Determinación de color.

Respecto al color que presentó el mucílago proveniente de las cáscaras de tunas no escaldadas, sus valores promedios de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  fueron 93,3, -6,9 y 2,2, respectivamente. En el mucílago extraído de las cáscaras de tunas escaldadas, el valor promedio de  $L^*$  fue de 93,5, el de  $a^*$  -6,4 y el de  $b^*$  2,13.

A pesar del tratamiento de escaldado que se realizó en la producción de uno de los mucílagos, esperando una diferencia de color notable entre ambos, todos los valores son similares entre muestras. Ambos mucílagos muestran un valor  $L^*$  cercano al 100, lo que indica que la luminosidad es cercana a la tonalidad blanca.

En el caso de  $a^*$  el valor negativo se acerca al color verde, y  $b^*$ , al ser positivo, indica que posee tonalidad amarilla.

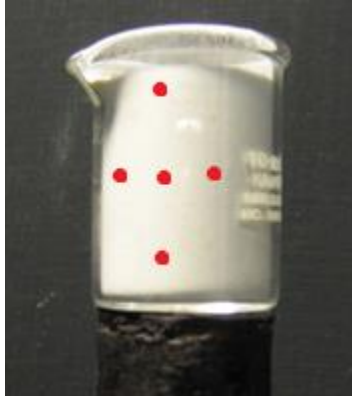


Figura 8. Determinación de color de un mucílago de cáscaras de tuna (promedio de  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  entre 5 puntos de cada muestra (●))

#### 6.4.2. Determinación de Actividad de agua.

El mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas no escaldadas presentó una actividad de agua de 0,432 a 25 °C, mientras que el mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas tuvo una actividad de agua de 0,411 a la misma temperatura.

La actividad de agua tiene efectos marcados en el crecimiento microbiano y en las reacciones de tipo bioquímico que tienen lugar en los alimentos.

El valor de  $a_w$  de 6,0 es el límite para el crecimiento de microorganismos en alimentos. Por debajo de este valor, ningún microbio se reproduce, aunque pueden quedar viables en estado latente (Barreiro y Sandoval, 2006). Por lo tanto, según las actividades de agua que mostraron ambos mucílagos, estos son considerados estables microbiológicamente.

#### 6.4.3. Determinación de pH.

En el caso del mucílago obtenido sin previo escaldado de la cáscara de la tuna, el pH fue de 5,52, en cambio, en el mucílago sometido a escaldado el pH fue de 5,3. Ambos presentan valores inferiores al pH neutral.

En comparación a mucílagos naturales tales como la Goma Guar, con pH 6,5 máximo, y la Goma Tara con un valor pH entre 5,0 y 7,0, los mucílagos obtenidos a partir de la cáscara de la tuna tienen valores similares a los que se pueden encontrar en gomas que actualmente se comercializan (Alnicolsa, 1996).

#### 6.4.4. Determinación de Ángulo de reposo.

El ángulo de reposo es un método empírico de estimación de la fluidez de los sólidos particulados, existiendo una clasificación de acuerdo al ángulo entre el cono formado por el polvo y la superficie plana que sirve de base al cono. Cuando  $\theta < 35^\circ$  se considera como material que fluye libremente, entre  $35$  a  $45^\circ$  como bastante cohesivo, de  $45$  a  $55^\circ$  cohesivo y si  $\theta > 55^\circ$  como muy cohesivo (Soto, 2010)

En el caso de los mucílagos analizados, ambos valores estuvieron dentro de un rango de  $51$  a  $53^\circ$ , por lo tanto, este producto es considerado cohesivo

La forma en que se realizó la medición está representada en la figura siguiente.

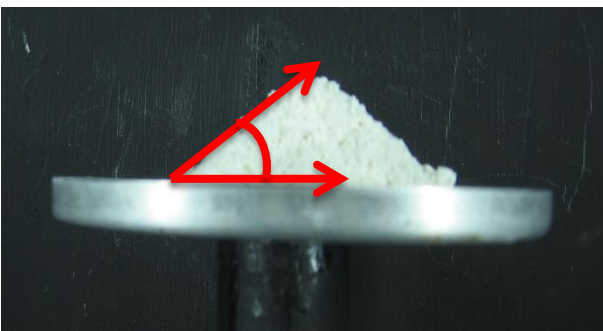


Figura 9. Determinación de Angulo de reposo de un mucílago de cáscaras de tuna.

#### 6.4.5. Determinación de tamaño de partícula.

El diámetro equivalente promedio de las 10 partículas de mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas fue de 0,330, mientras que en el caso del mucílago proveniente de cáscaras de tunas escaldadas, el promedio fue de 0,365 (Anexo N° 13).

Según los resultados, las partículas del mucílago sin escaldado corresponden a un tamaño de malla de 40 mesh, mientras que el mucílago con escaldado, a un tamaño de malla de 45 mesh. La disolución de ambos mucílagos en el agua es compleja debido a que poseen partículas de gran tamaño, en comparación a gomas comerciales, las cuales corresponden generalmente un tamaño de malla de 200 mesh.

#### 6.5. Análisis microbiológicos.

En el recuento de Aerobios Mesófilos, ambos mucílagos presentaron un valor menor a  $10^4$  UFC/g, siendo esta la cantidad máxima del parámetro microbiológico para mezclas en seco de uso instantáneo que no representa un riesgo para la salud.

Estos resultados microbiológicos se traducen en que ambos mucílagos analizados cumplen con los requisitos microbiológicos que se establecen para este tipo de producto, siendo ambos de calidad aceptable.

#### 6.6. Propiedades reológicas.

##### 6.6.1. Ensayos en flujo estacionario.

A continuación se exponen los ensayos de flujo estacionario realizados a las soluciones acuosas de los mucílagos extraídos de cáscaras de tunas no escaldadas y escaldadas.



En el gráfico siguiente se muestra el esfuerzo de corte en función de la velocidad de deformación en cizalla de la solución acuosa al 1% del mucílago proveniente de cáscaras de tunas no escaldadas, a 25°C.

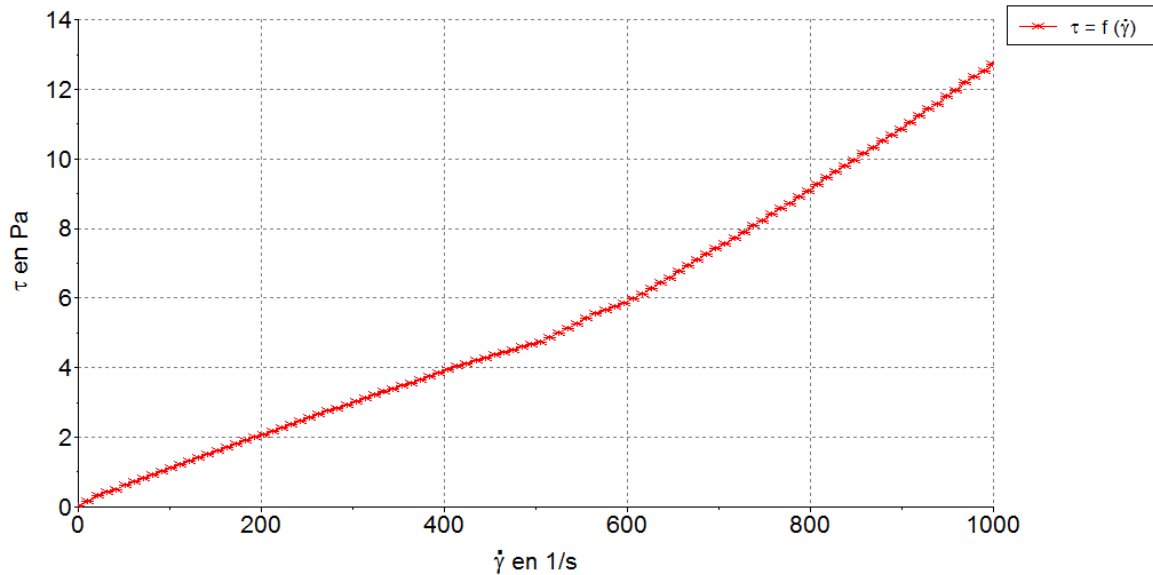


Figura 10. Esfuerzo de corte versus velocidad de deformación en cizalla del mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas.

En este caso, como se puede observar, el mucílago no presentó una relación lineal, por lo que se considera un fluido con un comportamiento No Newtoniano.

En la literatura se citan diversas ecuaciones para predecir el comportamiento de los fluidos no newtonianos. Los datos experimentales de esfuerzo de corte versus velocidad de deformación en cizalla del mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas se correlacionaron mediante los modelos reológicos de Casson (lin), Herschel–Bulkley, Casson, Cross, Bingham y Ostwald de Waele, presentados en la Figura 11.

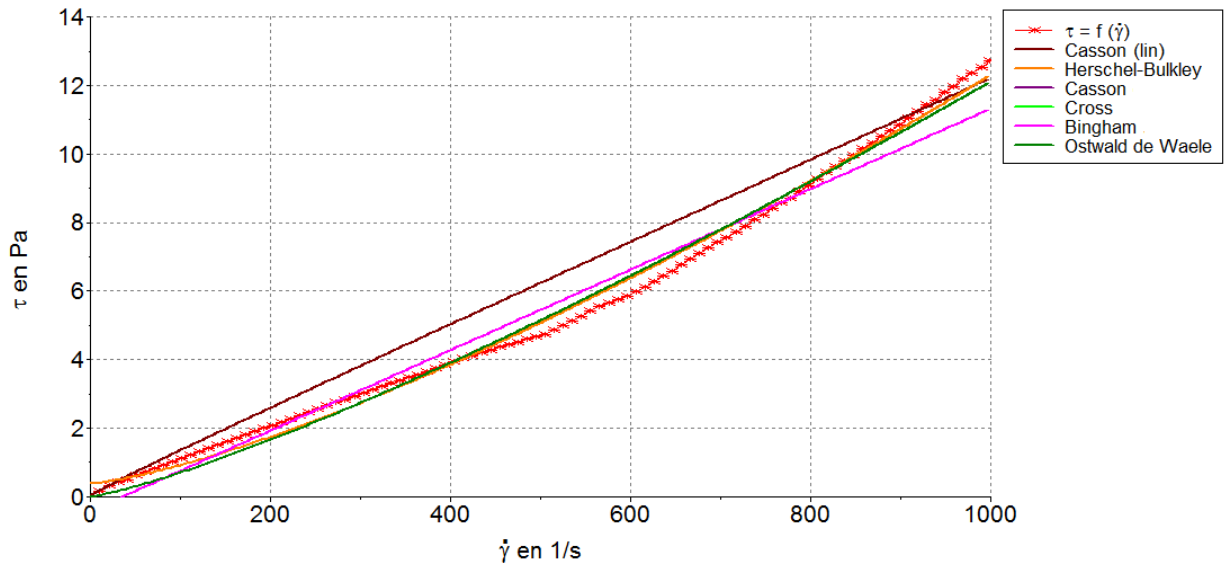


Figura 11. Datos experimentales de esfuerzo de corte versus velocidad de deformación en cizalla junto a los modelos de Casson (lin), Herschel –Bulkley, Casson, Cross, Bingham y Ostwald de Waele.

En la tabla 5 se presentan las ecuaciones y los datos experimentales correspondientes a diferentes modelos reológicos obtenidos del análisis del mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas.

Tabla 5. Ecuaciones y datos experimentales correspondientes a diversos modelos reológicos obtenidos del análisis del mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas.

Modelo	Ecuación*	K	n	$\tau_0$	$\eta_p$	$\eta_0$	$\eta_\infty$	$\dot{\gamma}_b$
Ostwald de Waele	$\tau = K\dot{\gamma}^n$	0,002	1,234	-	-	-	-	-
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_p\dot{\gamma}$	-	-	-0,418	0,012	-	-	-
Casson	$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + \sqrt{(\dot{\gamma})}$	-	-	0,008	0,012	-	-	-
Herschel -Bulkley	$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$	0,001	1,346	0,380	-	-	-	-
Casson	$\tau = \sqrt[n]{\tau_0^n + (\dot{\gamma}\eta_p)^n}$	-	0,500	-0,009	0,011	-	-	-
Cross	$\tau = \dot{\gamma}(\eta_\infty + (\eta_0 - \eta_\infty)/(1 + (\dot{\gamma}/\dot{\gamma}_b)^n))$	-	-0,015	-	-	0,244	-0,277	3018

\*K y n son constantes arbitrarias e índices de flujo, respectivamente, determinados por datos experimentales. Además,  $\eta$ , la viscosidad aparente,  $\eta_0$ , la viscosidad limitante a velocidad de cizalla cero,  $\eta_\infty$ , la viscosidad limitante a velocidad de cizalla infinita,  $\dot{\gamma}$ , la velocidad de deformación de cizalla, y  $\sigma$  el esfuerzo cortante.

Para determinar que modelo se ajusta más al fluido en cuestión, fue necesario comparar los coeficientes de correlación. En la tabla 6 se presentan los valores de  $R^2$ .

Tabla 6: Coeficientes de correlación de modelos reológicos para mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas.

Modelo	$R^2$
Ostwald de Waele	0,9902
Bingham	0,9795
Casson (lin)	0,9857
Herschel -Bulkley	0,9898
Casson	0,9752
Cross	-

Según los valores presentados en la tabla 6, el modelo que más se acerca a describir el comportamiento de este fluido, con  $R^2$  más cercano a 1, es el de la Ley de la Potencia o de Ostwald de Waele, representado gráficamente a continuación:

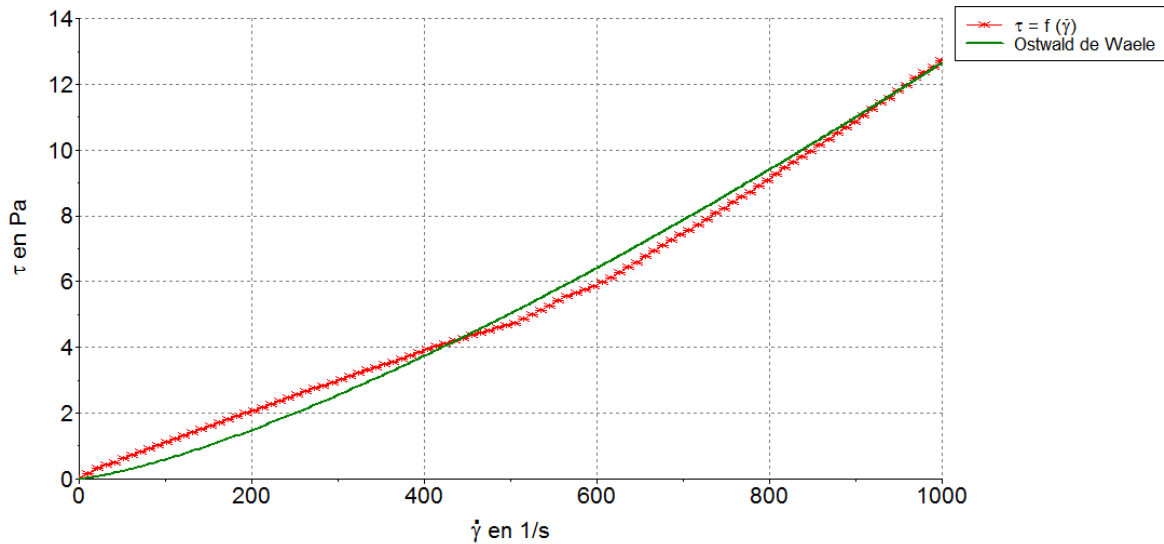


Figura 12. Datos experimentales de esfuerzo de corte versus velocidad de deformación en cizalla y el Modelo de Ley de la Potencia.

En la ecuación del Modelo de Ley de la Potencia o de Ostwald de Waele:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad \text{Ecuación (2)}$$

$K$  representa el índice de consistencia ( $\text{Pa s}^n$ ), y  $n$ , el índice de comportamiento de flujo (Steffe, 1996), siendo en este caso 0,002408 y 1,234, respectivamente. La viscosidad aparente no es constante y depende directamente de la velocidad de corte  $\dot{\gamma}$ .

En este caso,  $n$  es mayor que 1, por lo tanto, el fluido es denominado dilatante (shear-thickening), lo que significa que la resistencia a fluir aumenta con un aumento de la velocidad de corte (Ramirez, 2006).

La viscosidad aparente no es constante y es calculada como una función de la velocidad de deformación en cizalla. La curva de la viscosidad aparente puede ser

descrita matemáticamente en términos del Modelo de ley de la Potencia (Steffe, 1996):

$$\eta = K(\dot{\gamma})^{n-1} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$\eta = 0,002408(\dot{\gamma})^{0,234} \quad \text{Ecuación (4)}$$

La gráfica de la ecuación anterior, viscosidad aparente en función de la velocidad de deformación en cizalla, es la siguiente:

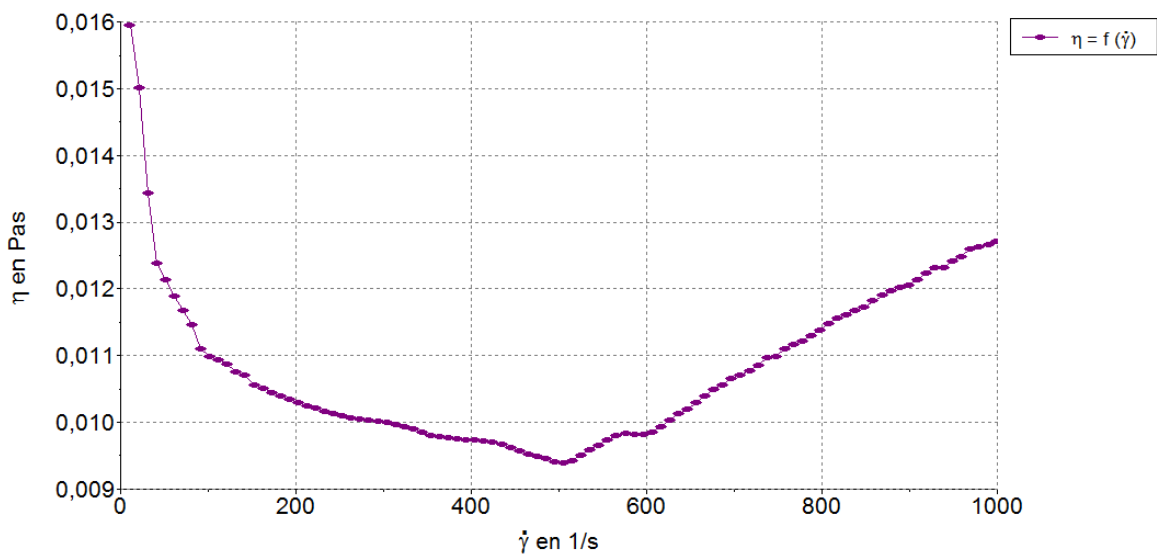


Figura 13. Viscosidad aparente del mucílago de cáscaras de tunas no escaldadas en función de la velocidad de deformación en cizalla.

A pesar que el valor de  $n$  en el modelo de Ley de la Potencia señala que el fluido es dilatante, el gráfico que muestra la variación de la viscosidad aparente presenta el fluido como pseudoplástico en el rango de velocidad de deformación 0 a 500  $s^{-1}$ , y como dilatante en el rango 500 a 1000  $s^{-1}$ .

Según el análisis que se extrae de las figuras 12 y 13, el mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas no escaldadas es un fluido con características pseudoplásticas y dilatantes, con mayor predominancia de esta última.

La viscosidad aparente promedio del mucílago de cáscaras de tunas no escaldadas es de 0,009200 Pa\*s (9,2 cP). Este valor se encuentra muy por debajo de las gomas naturales que se encuentran en el comercio, tales como la Goma Arábica, Goma Tragacanto y Goma Guar que poseen valores de viscosidad de 50, 200 y +4000 Cp, respectivamente (Stan Chem, 2009).

En el análisis del carácter reológico del mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas, la siguiente figura expone los valores de esfuerzo de corte en función de la velocidad de deformación en cizalla aplicada a este producto.

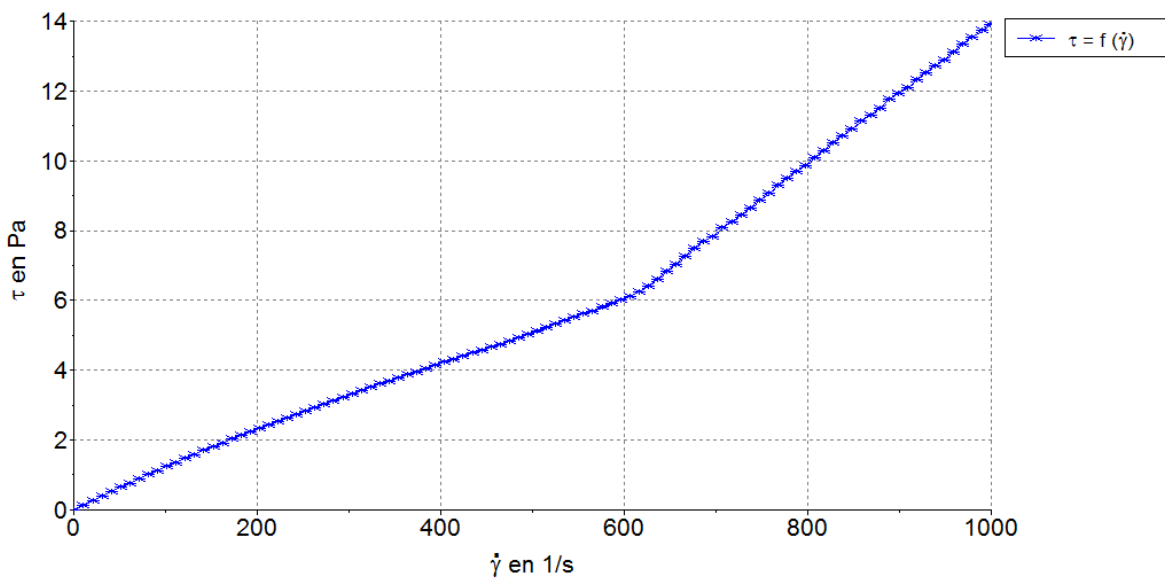


Figura 14. Esfuerzo de corte versus velocidad de deformación en cizalla del mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas.

Los datos experimentales correspondientes al mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas se correlacionaron mediante los modelos reológicos utilizados en el caso de los fluidos no newtonianos. Los modelos de Casson (lin), Herschel – Bulkley, Cross, Bingham y Ostwald de Waele son presentados en la Figura 15. Además, se obtuvieron los parámetros para cada uno de ellos (Anexo N°15).

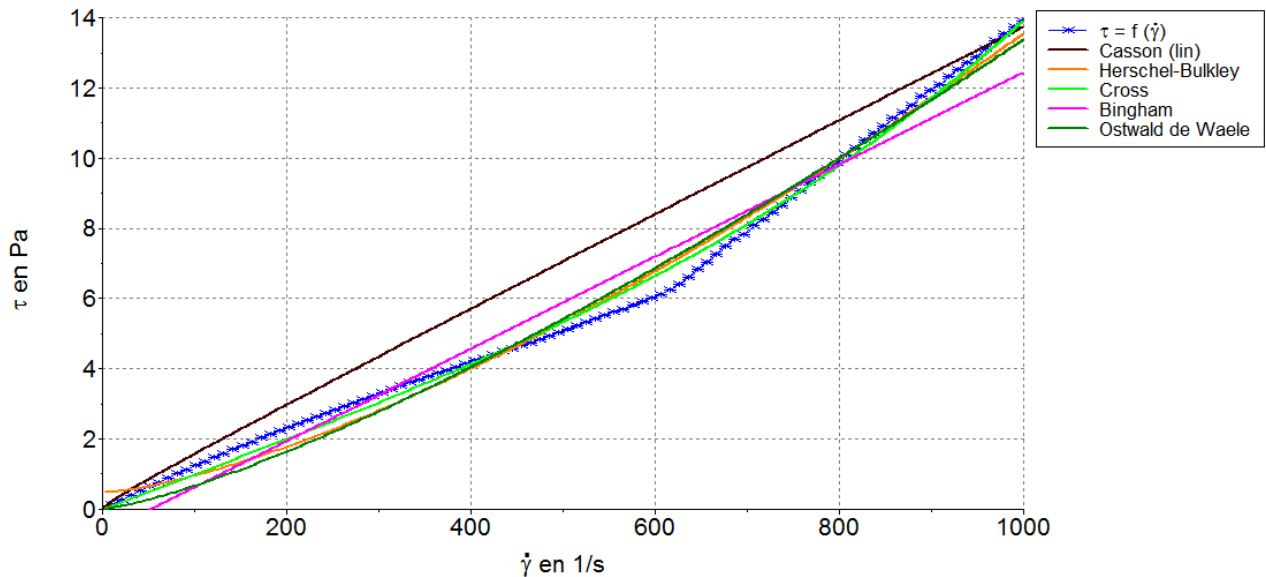


Figura 15. Datos experimentales de esfuerzo de corte versus velocidad de deformación en cizalla junto a los modelos de Casson (lin), Herschel –Bulkley, Cross, Bingham y Ostwald de Waele.

En la tabla 7 se presentan las ecuaciones y los datos experimentales correspondientes a diferentes modelos reológicos obtenidos del análisis del mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas.

Tabla 7. Ecuaciones y datos experimentales correspondientes a diversos modelos reológicos obtenidos del análisis del mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas.

Modelo	Ecuación*	K	n	$\tau_0$	$\eta_p$	$\eta_0$	$\eta_\infty$	$\dot{\gamma}_b$
Ostwald de Waele	$\tau = K\dot{\gamma}^n$	0,002	1,304	-	-	-	-	-
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_p\dot{\gamma}$	-	-	-0,684	0,013	-	-	-
Casson (lin)	$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + \sqrt{(\dot{\gamma})}$	-	-	0,015	0,012	-	-	-
Herschel -Bulkley	$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$	0,001	1,428	0,467	-	-	-	-
Cross	$\tau = \dot{\gamma}(\eta_\infty + (\eta_0 - \eta_\infty) / (1 + (\dot{\gamma}/\dot{\gamma}_b)^n))$	-	-2,411	-	-	60,850	0,010	542.000

\*K y n son constantes arbitrarias e índices de flujo, respectivamente, determinados por datos experimentales. Además,  $\eta$ , la viscosidad aparente,  $\eta_0$ , la viscosidad limitante a velocidad de cizalla cero,  $\eta_\infty$ , la viscosidad limitante a velocidad de cizalla infinita,  $\dot{\gamma}$ , la velocidad de deformación de cizalla, y  $\sigma$  el esfuerzo cortante.

Para determinar que modelo se ajusta más al fluido en cuestión, se compararon los valores de coeficiente de correlación, los cuales se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 8: Coeficientes de correlación de modelos reológicos para mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas.

Modelo	R <sup>2</sup>
Ostwald de Waele	0,9750
Bingham	0,9510
Casson (lin)	0,9635
Herschel -Bulkley	0,9686
Cross	0,9655



Según los valores de  $R^2$ , el modelo que más se ajusta al mucílago analizado es, nuevamente, el de Ley de la Potencia o de Ostwald de Waele, demostrado en la siguiente figura:

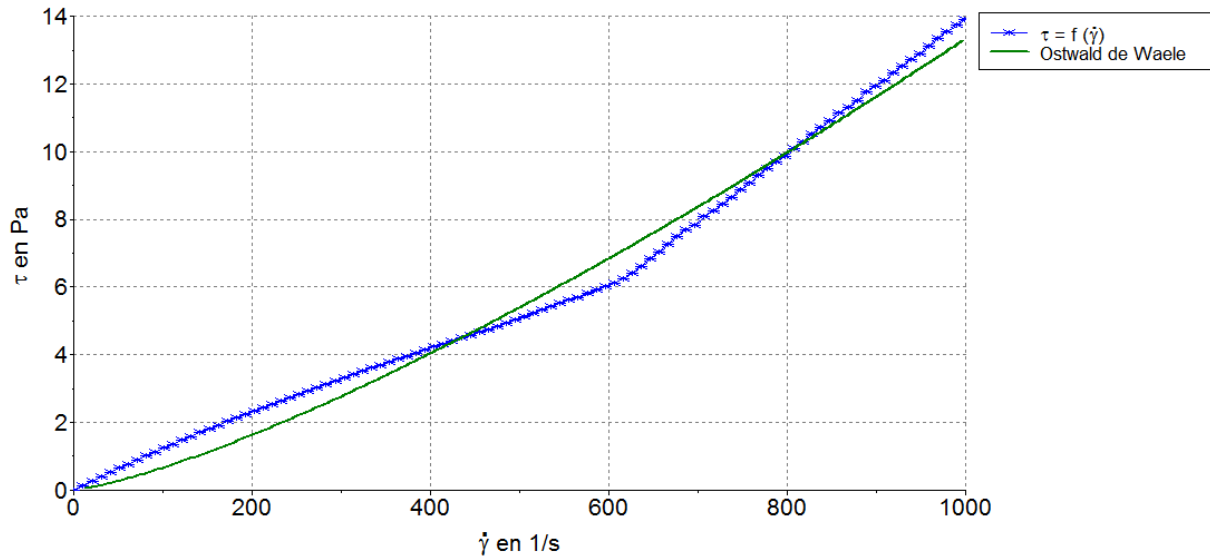


Figura 16. Datos experimentales de esfuerzo de corte versus velocidad de deformación y el Modelo de Ley de la Potencia.

En la ecuación del Modelo de Ley de la Potencia los valores de  $K$  y  $n$  son 0,001629 y 1,304, respectivamente. En este caso la función de la viscosidad aparente es:

$$\eta = 0,001629(\dot{\gamma})^{0,304} \quad \text{Ecuación (5)}$$

La representación gráfica de la ecuación (5) es la siguiente:

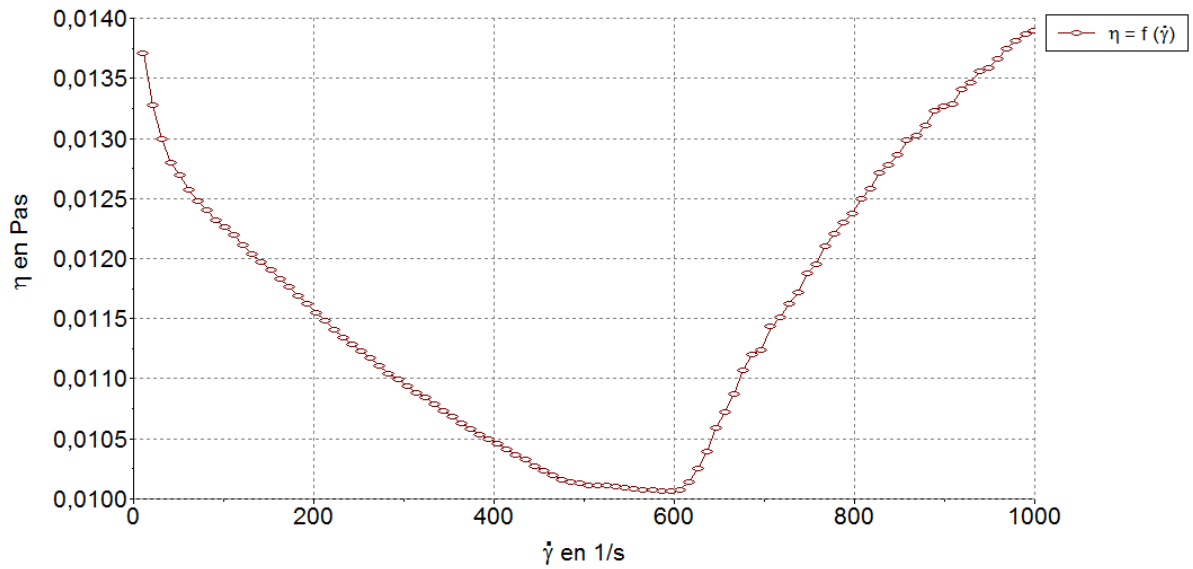


Figura 17. Viscosidad aparente del mucílago proveniente de cáscaras de tunas escaldadas en función de la velocidad de deformación.

El gráfico de viscosidad aparente en función de la velocidad de deformación muestra que el fluido se comporta primeramente como un pseudoplástico y luego como dilatante.

El estudio del comportamiento reológico indica que la viscosidad aparente promedio del mucílago de cáscaras de tunas no escaldadas es de 0,01047 Pa\*s (10,47 cP). Al igual que el mucílago obtenido de cáscaras de tunas escaldadas, la viscosidad presentada por este mucílago es muy inferior a la encontrada en gomas naturales comerciales.

Ambos mucílagos presentan características similares, lo cual se aprecia en la figura 18, donde se observan las viscosidades aparentes de ambas soluciones acuosas al 1% a 25°C.

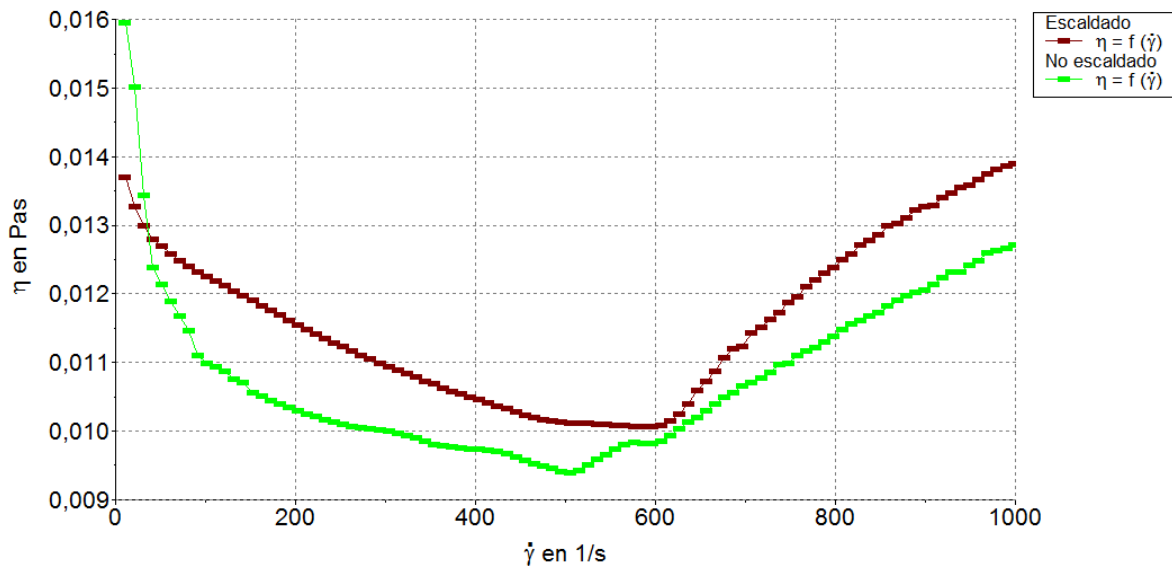


Figura 18. Viscosidad aparente de soluciones acuosas al 1% de mucílagos extraídos de cáscaras de tunas con y sin proceso de escaldado.

Ambos mucílagos presentan un comportamiento pseudoplástico y dilatante a diferentes rangos de velocidad de deformación, predominando en ambos casos la característica de fluido dilatante.

A menudo los valores de viscosidad encontrados para unos determinados valores de velocidades de cizalla no se mantienen constantes conforme aumenta el tiempo de aplicación de la deformación. Si el valor de esta viscosidad disminuye es el caso de un fluido tixotrópico.

Las causas más comunes que provocan la variación de la viscosidad con el tiempo suelen estar asociadas a ruptura o formación de agregados coloidales e interacciones que formen una estructura reticular en la muestra.

En el caso de los mucílagos analizados, la viscosidad aparente depende del tiempo durante el cual el mucílago es sometido a esfuerzo, dando como respuesta una Tixotropía ya que la viscosidad aparente disminuye con el tiempo. En la figuras 19 y 20 se presentan las histéresis de los mucílagos extraídos de las cáscaras de tunas no escaldadas y escaldadas.

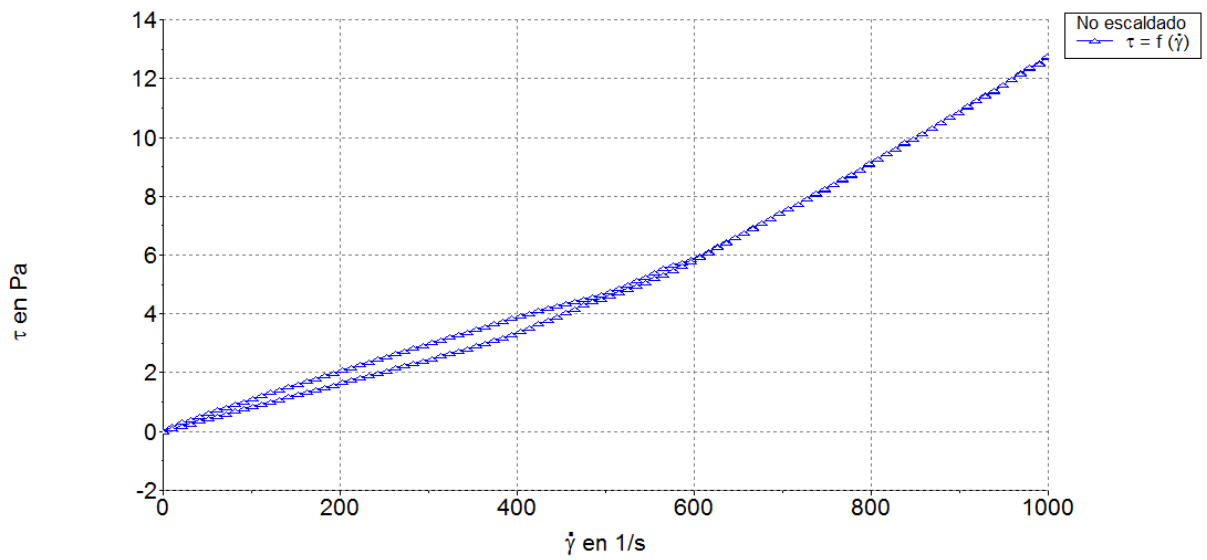


Figura 19. Tixotropía presente en mucílago extraídos de cáscaras de tunas no escaldadas.

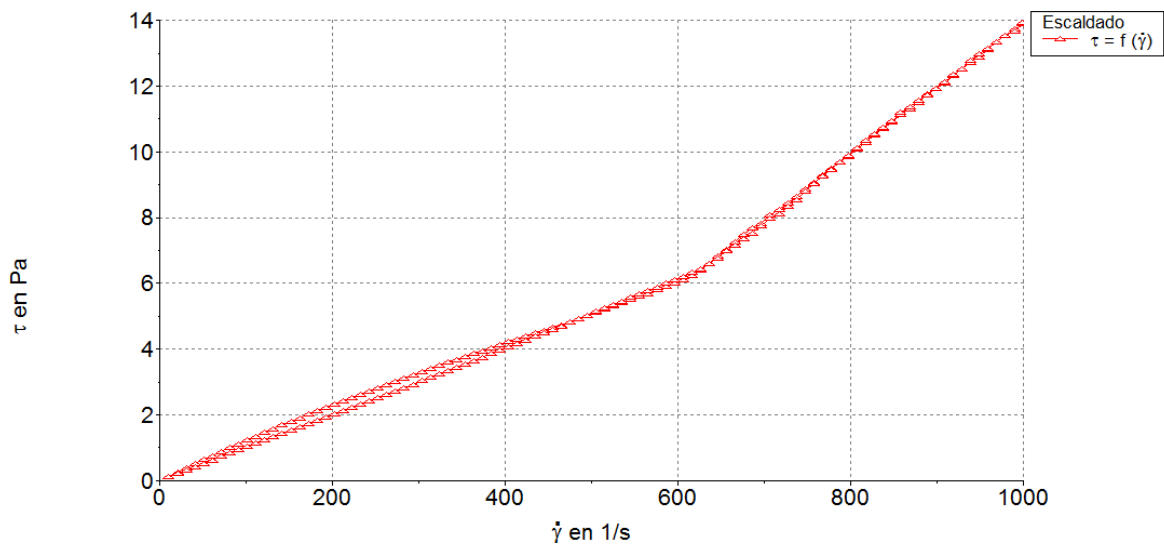


Figura 20. Tixotropía presente en mucílago extraídos de cáscaras de tunas escaldadas.

### 6.6.2. Ensayos en flujo oscilatorio.

Con el fin de evaluar las propiedades viscoelásticas, se realizaron pruebas de cizalla oscilatoria en ambos mucílago.

En la figura 21 se presenta la evolución de los módulos dinámicos,  $G'$  y  $G''$ , y el ángulo de desfase en función del tiempo en la solución acuosa de mucílago de tuna extraído de las cáscaras de tunas no escaldadas. Las muestras fueron cizalladas a una frecuencia constante de 1 Hz, a 25°C.

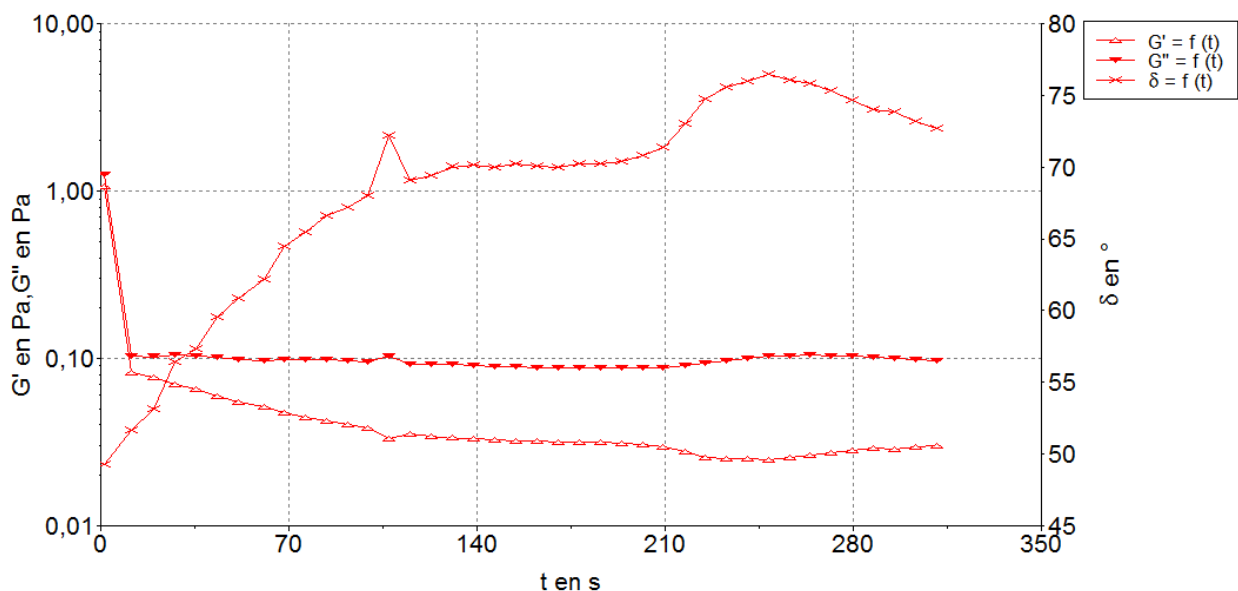


Figura 21. Evolución, a frecuencia constante, de los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdida ( $G''$ ) y el ángulo de desfase, con el tiempo en muestra de mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas no escaldadas.

En los primeros segundos del análisis se observa que el mucílago presenta valores similares de  $G'$  y  $G''$ , siendo este último mayor. Junto a esto, el valor de ángulo de desfase se encuentra cercano a los 50°. Luego de los 10 segundos, los valores de los módulos dinámicos descienden bruscamente hasta un valor que se mantiene aproximadamente constante hasta el fin del análisis. Durante todo el tiempo de análisis el valor de  $G''$  es superior a  $G'$ , aumentando levemente la

diferencia entre ambos. Además, el valor de ángulo de desfase aumenta a medida que el tiempo avanza. Ambas observaciones indican que el mucílago analizado presenta comportamiento viscoelástico, con tendencia a comportarse como un fluido viscoso (Steffe, 1996).

A través del siguiente gráfico, módulos  $G'$  y  $G''$  en función de la frecuencia de oscilación, se obtuvo el espectro mecánico dinámico de la solución acuosa del mucílago extraído de la cáscaras de tunas no escaldadas. La determinación se realizó a 25°C.

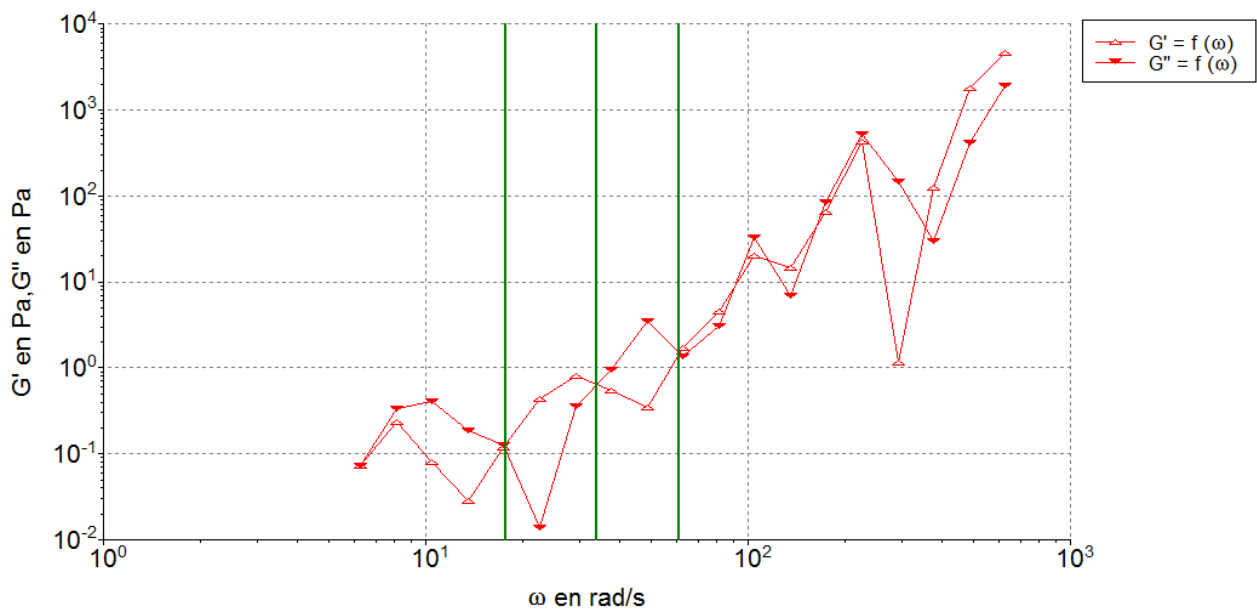


Figura 22. Módulos  $G'$  y  $G''$  en función de la frecuencia de oscilación en muestra de mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas no escaldadas.

Como se observa en la figura 22, el módulo de pérdida es mayor que el módulo de almacenamiento en el primer intervalo de frecuencia analizado, es decir, en este rango la muestra tiene un carácter viscoso que predomina sobre el carácter sólido. Luego de esto, en el segundo intervalo de frecuencia,  $G'$  es mayor que  $G''$ , lo que indica que el producto se comporta como un sólido. Este cambio de comportamiento del fluido, a medida que aumenta la frecuencia angular, se

produce continuamente, lo que indica que el mucílago posee una estructura física inestable. A pesar de que existen diferencias entre los módulos,  $G'$  y  $G''$  se aproximan entre sí a valores altos de frecuencia (Steffe, 1996).

La figura 23 presenta la evolución de los módulos dinámicos y el ángulo de desfase en función del tiempo en la solución acuosa de mucílago de tuna extraído de las cáscaras de tunas escaldadas.

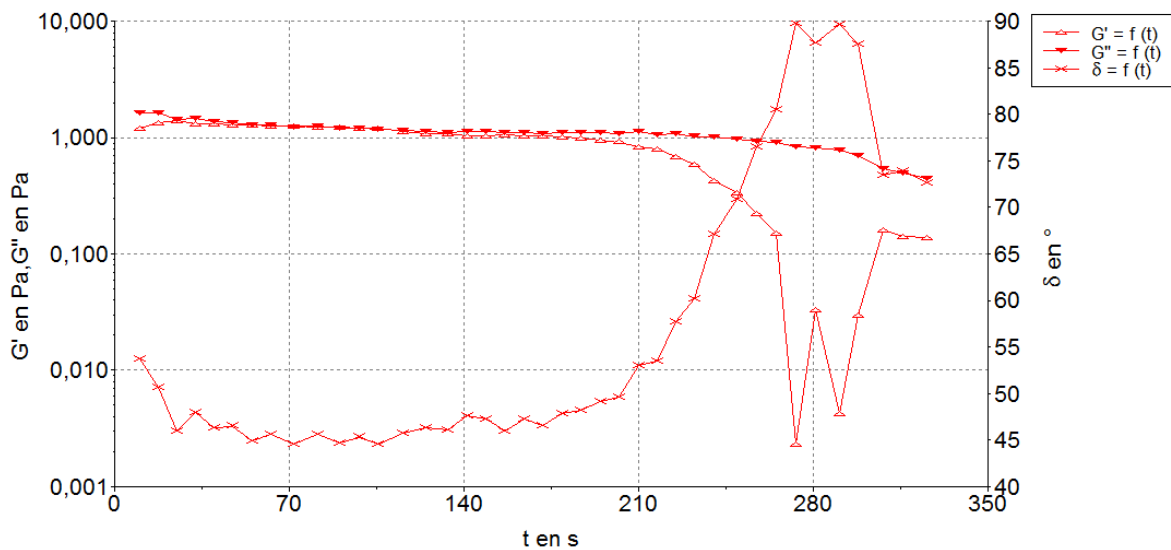


Figura 23. Evolución, a frecuencia constante, de los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdida ( $G''$ ) y el ángulo de desfase, con el tiempo en muestra de mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas escaldadas.

Como se puede observar, el fluido presenta características viscosas desde el momento en que se empieza a analizar ya que  $G''$  es mayor a  $G'$ . A pesar de esto, ambos módulos tienen valores cercanos, por lo que la frecuencia angular posee un valor aproximado de  $50^\circ$

En la figura 23 se observa que, cercano a los 200 segundos, los valores de los módulos se comienzan a distanciar, siempre  $G'' > G'$ , al mismo momento en que la frecuencia angular comienza a elevar su valor. El producto llega a un punto en que presenta una gran diferencia entre el módulo de almacenamiento y el módulo de

pérdida, y la frecuencia angular llega a casi los  $90^\circ$ , lo cual indica que el producto se presenta como un fluido viscoso.

La figura siguiente presenta el espectro mecánico dinámico de la solución acuosa del mucílago obtenido de las cáscaras de tunas escaldadas.

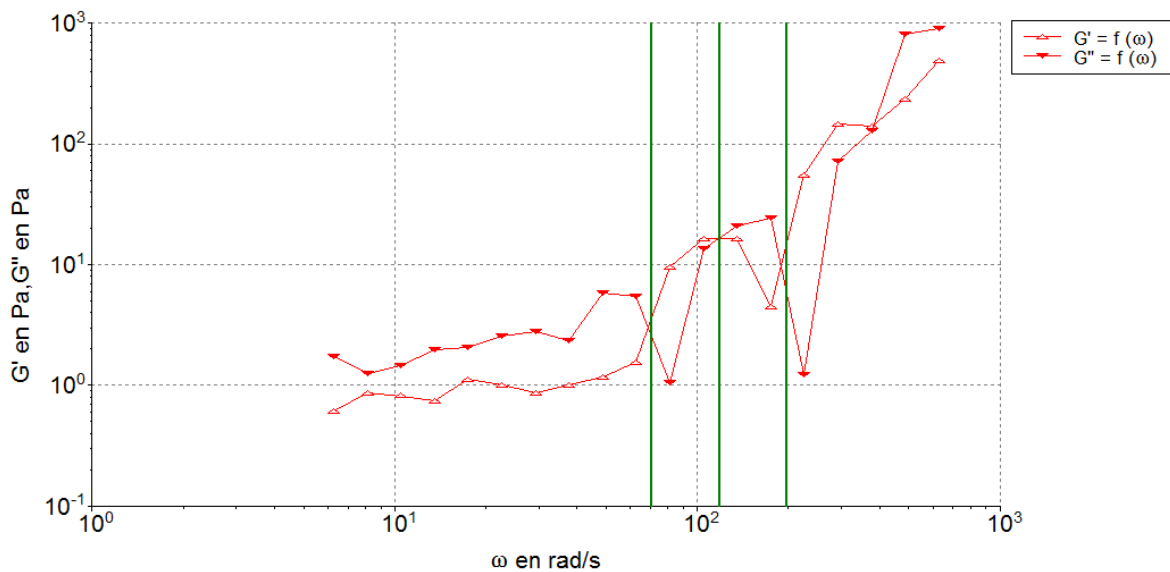


Figura 24. Módulos  $G'$  y  $G''$  en función de la frecuencia de oscilación en muestra de mucílago obtenido a partir de cáscaras de tunas escaldadas.

Al igual que el comportamiento del mucílago anteriormente analizado, la muestra tiene un carácter viscoso que predomina sobre el carácter sólido en frecuencias angulares bajas. Luego del primer punto de entrecruzamiento de los módulos, el fluido muestra un carácter viscoso. Se producen tres entrecruzamientos en el rango de frecuencia analizado, indicando que la distribución de las partículas del producto hace que este posea una estructura inestable.



6.7. Ficha técnica de productos.

Figura 25. Ficha técnica de mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas.

<b>Producto</b>		<b>Mucílago a partir de cáscaras de tunas no escaldadas</b>
<b>Humedad</b>		12,96 %
<b>Cenizas</b>		9,64 %
<b>Grasas totales</b>		0,73 %
<b>Proteínas</b>		7,8 %
<b>Carbohidratos totales</b>		68,93 %
<b>Apariencia</b>		Polvo blanco con tonalidad amarilla y verde
<b>Viscosidad, 1% Solución</b>		9,2 Cps
<b>Granulometría</b>		40 mesh
<b>a<sub>w</sub></b>		0,432
<b>pH</b>		5,52
<b>Análisis microbiológico</b>		
<b>Aerobios</b>	<b>Mesófilos</b>	<b>por gramo.</b>
		<10 <sup>4</sup> UFC/g

Figura 26. Ficha técnica de mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas.

<b>Producto</b>		<b>Mucílago a partir de cáscaras de tunas escaldadas</b>
<b>Humedad</b>		14,63 %
<b>Cenizas</b>		7,36 %
<b>Grasas totales</b>		1,03 %
<b>Proteínas</b>		9,11 %
<b>Carbohidratos totales</b>		67,83 %
<b>Apariencia</b>		Polvo blanco con tonalidad amarilla y verde
<b>Viscosidad, 1% Solución</b>		10,47 Cps
<b>Granulometría</b>		45 mesh
<b>a<sub>w</sub></b>		0,411
<b>pH</b>		5,3
<b>Análisis microbiológico</b>		
<b>Aerobios</b>	<b>Mesófilos</b>	<b>por gramo.</b>
		<10 <sup>4</sup> UFC/g

## VII. Conclusiones

- Se obtuvieron dos tipos de mucílagos a partir de cáscaras de tunas no escaldadas y escaldadas. En ambos métodos de extracción las cáscaras de tunas fueron limpiadas, trituradas y, anterior al proceso de extracción acuosa, a uno de los métodos se le adicionó el proceso de escaldado de las cáscaras de tunas.
- Las características físicas y químicas de ambos mucílagos fueron las siguientes:
  - El mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas presenta 12,9% de humedad, 9,64% de cenizas, 0,73% de grasas, 7,8 % proteínas y 68.93% de carbohidratos más fibra.
  - El mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas presenta 14,6% de humedad, 7,4% de cenizas, 1,03% de grasa, 9,11% de proteínas y 67,86% de carbohidratos más fibra.
  - Respecto al color, ambos presentaron una luminosidad cercana a la tonalidad blanca, con tonos verdes y amarillos.
  - La actividad de agua de ambos mucílagos mostraron un valor bajo 0,45, siendo considerados estables microbiológicamente.
  - El pH de cada mucílago fue de valor inferior al pH neutral.
  - Según el ángulo de reposo, los mucílagos analizados se consideran cohesivos. Respecto al tamaño de partícula, el mucílago extraído de cáscaras de tunas no escaldadas corresponde a un tamaño de malla de 40 mesh, mientras que el mucílago extraído de cáscaras de tunas escaldadas, a un tamaño de malla de 45 mesh.
- Respecto de las propiedades reológicas presentadas por ambos mucílagos diluidos, se puede concluir que ambos mucílagos son fluidos No

Newtonianos. El modelo reológico que representa a ambos fluidos es el de la Ley de la Potencia o de Ostwald de Waele.

- Ambos mucílagos presentan un comportamiento pseudoplástico y dilatante a diferentes rangos de velocidad de deformación, predominando la característica de fluido dilatante. Además, en ambos casos la viscosidad aparente también depende del tiempo durante el cual el mucílago es sometido a esfuerzo, dando como respuesta una Tixotropía.
- Las viscosidades aparentes de los mucílagos obtenidos de cáscaras de tunas no escaldadas y escaldadas fueron de 9,2 y 10,47 cP, respectivamente.
- Según los valores de  $G'$  y  $G''$  presentados por los mucílagos, el ángulo de desfase y la frecuencia de oscilación, se establece que ambos presentan comportamiento viscoelástico, con tendencia a comportarse como un fluido viscoso y de estructura física inestable.
- Según los resultados, ambos mucílagos analizados poseen características físicas y químicas similares. Lo mismo ocurre respecto a los análisis microbiológicos y reológicos. Por lo tanto, se puede concluir que el método óptimo de extracción de mucílago de cáscaras de tunas es el realizado sin el proceso de escaldado de estas ya que se considera un gasto de energía y recursos.
- Respecto al valor agregado del subproducto analizado, la extracción de mucílago no se considera la mejor opción ya que sus capacidades como hidrocoloide, comparado a los que se pueden encontrar en forma comercial actualmente, no son suficientes. Es por esto que se sugiere una investigación en profundidad de los carbohidratos totales que posee la cáscara de tuna ya que es el macronutriente que posee en mayor cantidad.

## VIII. Referencias

ABRAJÁN, M. (2008). Efecto del Método de Extracción en las Características Químicas y Físicas del Mucílago del Nopal (*Opuntia ficus-indica*) y Estudio de su Aplicación como Recubrimiento Comestible. Universidad Politécnica de Valencia.

Álvarez, B. 2007. Análisis de Factibilidad del cultivo de la Tuna en la Localidad de Icaño, Departamento La Paz. Dirección Provincial de Programación del Desarrollo. Ministerio de Producción y Desarrollo. Gobierno de la Provincia de Catamarca. Argentina.

Alimentos, Y. T. D. E., Funcional, D. E. U. N. A., & Sensorial, Y. S. U. E. (n.d.). No Title, 441–448.

Alnicolsa, Productos Agroindustriales (1996) Ficha técnica de la Goma Tara [en línea] < <http://taninos.tripod.com/FichaTecnica.htm> > [en consulta: Junio, 2014]

A.O.A.C. Official Methods of Analysis 13 th Edition (1984)

Archbold, R., (2014), Análisis del tamaño de partícula.

Barreiro, J., Sandoval, A., (2006), Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas, p. 56-58).

Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I., Goycoolea, F., 1997. Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus indica*)mucilage in solution. Journal of the professional Association for Cactus Development 2, 152-159.

Cerezal, P., Carrasco, A., Pinto, K., Arcos, R., (2008) Suplemento Alimenticio de alto contenido Proteico para niños de 2 - 5 años. Propiedades físicas, químicas, reológicas y color. INTERCIENCIA. Vol. 33 N°4, p. 304

CEZA ( Centro de estudios de Zonas áridas), FIA, Universidad de Chile. (2011)  
TUNA (*Opuntia ficus-indica*)

CODEX STAN 186 (1993). Norma del codex para la tuna, p. 1-4.

Egan, H., Kirk, R., Sawyer, R. (1988). Análisis Químico de Alimentos de Pearson.  
Compañía Editorial Continental. México.

Gomas naturales, S.A. de C.V. (2010). La Goma Arábica: una maravilla natural  
que nos beneficia a todos. Industria Alimentaria. México.

HABIBI, Y., Heyraud, A., Mahrouz, M., and Vignon, M.(2004), Structural features of  
pectic polysaccharides from the skin of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. p.  
1120

Hernández, H., Sastre, A., (1999), Tratado de Nutrición, p. 30

HunterLab (2012) Measuring color using Hunter L, a, b versus CIE 1976 L\*a\*b\*, An  
1005.00, p. 2 [en línea] <<http://www.hunterlab.com/an-1005b.pdf> [consulta: Agosto,  
2014)

McGarvie, D., y Parolis, H. (1981) Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia  
ficus-indica*. Carbohydrate Research, 88:305-314

Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., Katthain, R.,  
2000. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). Food  
Hydrocolloids 14 (5), 417-424.

Milani, J., Maleki, G., (2012), Hydrocolloids in Food Industry. Food Industrial  
Processes-Methods and equipment. p. 26

Prepared Foods, (2013), Global Hydrocolloid Market, [en línea] <<http://www.preparedfoods.com/articles/113210-global-hydrocolloid-market>> [consulta: Julio, 2014]

Reglamento Sanitario de los Alimentos. DTO. N°977/96

Salud, R., & Nutricion, P. Y. (1978). Producción Y Usos Del Nopal Para Verdura, 1–19.

Sáenz, C.;Sepúlveda, E. y Matsuhira B., (2004). Opuntia spp mucilage's: a functional component with industrial perspective. *Journal Arid Environments*, 57: 275-290.

Sáenz, C., Berger, H., Corrales, J., Galletti, L., García, V., Higuera, I., Mondragón, C., Rodríguez-Félix, A., Sepúlveda, E., Varnero, M. (2006) “Utilización Agroindustrial del nopal”. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*. Vol. 162.

Sáenz, C., Vásquez, M., Trumper, S., Fluxá, C. (1992) Extracción y composición química de mucílago de tuna (*Opuntia ficus.indica*). Santiago, Chile.

Seisun, D., (2012). Overview of the food Hydrocolloids Market. Market overview. [en línea] <<http://pubs.rsc.org/en/content/chapterpdf/2012/9781849734554-00001?isbn=978-1-84973-358-8&sercode=bk>> [consulta: Julio, 2014]

Sepúlveda, E. y Sáenz, C. (1990). Chemical and physical characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) pulp. *Rev. Agroquim. Technol. Aliment.*

Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*.

Silva, C. (2010) Caracterización Reológica de hidrocoloides alimentarios: Goma Guar, Goma Tragaacnto, Metilcelulosa y sus mezclas. Universidade de Santiago de Compostela.

Soto, P., (2010) Desarrollo de una Bebida Instantánea en base a Semillas de Quínoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) y su caracterización Físicoquímica y Nutricional, Universidad de Chile.

Stam Chem (2009) Product Data Sheet, Guar Gum. England. [en línea] <<http://www.stanchem.co.uk/Portals/20/docs/Guar%20Gum%20Data.pdf>>

[consulta: Julio, 2014]

Steffe, F. (1996) Rheological Methods in Food Process Engineering. Second Edition. USA

Trachtenberg, S., Mayer, A.M., 1981. Composition and properties of *Opuntia ficus indica* mucilage. *Phytochemistry* 20, 2665-2668.

Valdez, R., Blanco, F., Vásquez, R., Magallanes, R. (2008), Producción y usos del nopal para verdura. *Revista Salud Pública y Nutrición*

Ramirez, J., (2006) Introducción a la Reología de los Alimentos, Universidad del Valle, Colombia.

## IX. ANEXOS

### 1. Selección de tunas en Supermercado Lider ®.



### 2. Proceso de Pelado de tunas.



### 3. Extracción acuosa de cáscaras de tuna.

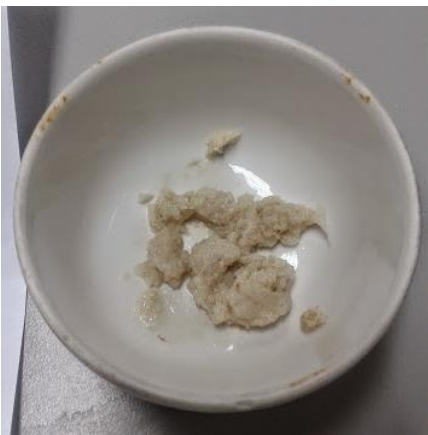




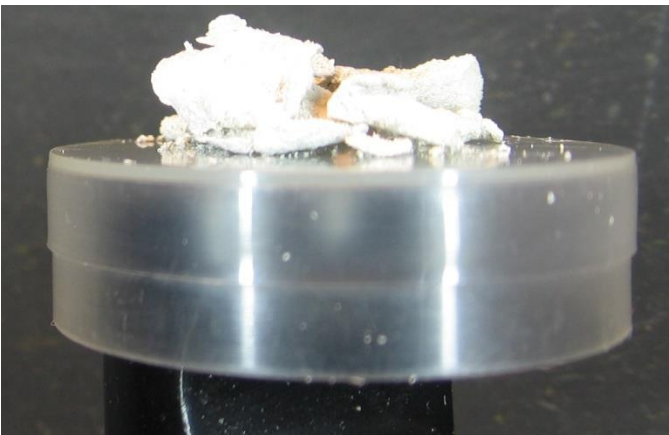
4. Precipitación con solvente.



5. Mucílago Filtrado al vacío.



6. Mucílago Secado en estufa.



7. Termo balanza PMC50/1 de la marca RADWAG.



8. AQUALAB 4TEV.



9. pH-metro Bench 2700 de la marca EUTECH INSTRUMENTS.



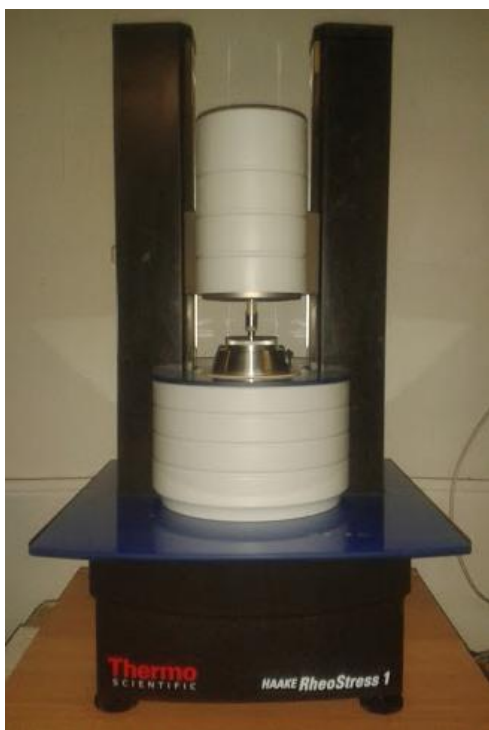
10. Título V, Párrafo III, Artículo 173 “Especificaciones microbiológicas por grupos de alimentos”, para mezclas en seco de uso instantáneo.

Parámetro	Plan de muestreo		n	Límite por gramo			M
	Categoría	Clases		c	m	M	
Rcto. Aerobios Mesóf.	3	3	5	1	$10^4$	$10^5$	
B. cereus (*)	6	3	5	1	$10^2$	$10^3$	
Salmonella en 25 g (**)	10	2 <sup>152</sup>	5	0	0	---	

(\*) Sólo para productos que contengan leches.  
 (\*\*\*) Sólo para gelatinas y productos que contengan cacao y/o huevo.

Fuente: Reglamento Sanitario de los Alimentos. DTO. N°977/96

11. Reómetro HAAKE RheoStress 1.



12. Modelos y ecuaciones para flujos No Newtonianos (Silva 2010).

Modelos para fluidos No Newtonianos	Ecuación*
Modelo de Bingham	$\sigma_{21} = -\mu\dot{\gamma} + \sigma_0$
Modelo de Ostwald-de Waele o Modelo de la Ley de la Potencia	$\sigma = k\dot{\gamma}^n$ $\eta = k\dot{\gamma}^{n-1}$
Modelo de Herschel-Bulkley	$\sigma = k\dot{\gamma}^n + \sigma_0$ $\eta = k(\dot{\gamma})^{n-1} + \frac{\sigma_0}{\dot{\gamma}}$
Modelo de Cross	$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{1 + k(\dot{\gamma})^{(1-n)}}$
Modelo de Cross-Williamson	$\eta = \frac{\eta_0}{1 + k(\dot{\gamma})^{(1-n)}}$
Modelo de Carreau	$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{[1 + (k\dot{\gamma})^2]^{\frac{(1-n)}{2}}}$
Modelo de Sisko	$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_0}{k(\dot{\gamma})^{(1-n)}}$ $\sigma = k_s\dot{\gamma}^n + \eta_\infty\dot{\gamma}$

\*K y n son constantes arbitrarias e índices de flujo, respectivamente, determinados por datos experimentales. Además,  $\eta$ , la viscosidad aparente,  $\eta_0$ , la viscosidad limitante a velocidad de cizalla cero,  $\eta_\infty$ , la viscosidad limitante a velocidad de cizalla infinita,  $\dot{\gamma}$ , la velocidad de deformación de cizalla, y  $\sigma$  el esfuerzo cortante

13. Fotografías por microscopía de partículas de mucílago extraídos de cáscaras de tunas no escaldadas (izquierda) y escaldadas (derecha). Ampliación 500X.

