



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

**“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINAS DE NOPAL Y
CÁSCARA DE TUNA PARA SU POSIBLE EMPLEO COMO AGENTE
ADITIVO EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE QUÍMICO
FARMACOBIOLOGO**

PRESENTA

P.Q.F.B. FRANCISCO JAVIER CORTÉS CHÁVEZ

ASESOR

M.C. ROSA MARÍA GARCÍA MARTÍNEZ

MORELIA MICHOACÁN, AGOSTO 2016

“La presente investigación fue realizada en el Laboratorio de Análisis de Alimentos en la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, con el apoyo y la asesoría de la M.C. Rosa María García Martínez”.

“La presente tesis fue apoyada por el CECTI”

DEDICATORIA

Este esfuerzo va dedicado a mis padres y mi hermana, y en general a toda mi familia y amigos sin excluir a ningún integrante porque han estado ahí en todo momento.

Una dedicatoria especial para mi sobrino Giovanni Bedolla Cortés que pese a su corta edad y experiencia me ha enseñado mucho y ha cambiado a toda la familia, nos ha llenado de risas y buenos momentos de alegría con sus ocurrencias.

Otra dedicatoria a una persona muy especial en mi presente Valery Yuritzí García Ibarra por estar a mi lado y apoyarme a seguir con la culminación de la tesis.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento nuevamente a mis padres María de los Ángeles Chávez Aguilera y Francisco Javier Cortés Vieyra, a mi hermana Gabriela Cortés Chávez que sin sus consejos, esfuerzo y apoyo nunca hubiera logrado llegar a donde estoy.

Agradezco a mi asesora M.C. Rosa María García Martínez por su apoyo, paciencia, confianza y por aportarme los conocimientos para realizar este proyecto.

A todos mis amigos y a algunos que se han convertido en mis hermanos de vida que han sabido estar en las malas y en las buenas conmigo, no hace falta mencionarlos además de que son muchos y no quisiera omitir a ninguno, ellos saben quiénes son, que me han acompañado a lo largo de la vida en las diferentes etapas algunos por poco, otros por mucho tiempo, pero que al fin al cabo no importa el tiempo que hayas compartido con alguien si no la confianza que te brindan y sabes que puedes contar con ellos.

También quiero agradecer a mis revisores de tesis el D.C. José Octavio Rodiles López y la M.C. Diana Cecilia Maya Cortés por el apoyo, confianza, paciencia y consejos en la realización y revisión de mi tesis.

RESUMEN

La pectina es un polisacárido encontrado en las paredes celulares de los vegetales, utilizado en la industria alimenticia como gelificante y espesante. La Tuna (*Opuntia sp.*), es el fruto del nopal, pertenece a la familia *Cactaceae*. Este fruto es considerado en México como uno de los centros de origen.

Se determinó el análisis proximal de la cáscara de tuna y nopal basado en las técnicas descritas en el manual de la AOAC (Humedad, Cenizas, Proteína, Fibra, Extracto etéreo, Extracto libre de nitrógeno). El proceso de extracción de pectina se desarrolló mediante hidrólisis ácida. La confirmación de la estructura de la pectina se realizará por los siguientes análisis: contenido de ácido anhidro galacturónico (método de Schultz), porcentaje de metóxilos (método de Schultz), grado de gelificación y espectro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). Al comparar las pectinas de nopal y cáscara de tuna resultaron de características muy similares, y encontramos similitudes con la pectina comercial.

La presente investigación arroja que se puede lograr obtener pectinas de alto metoxilo de la cáscara de tuna y de mejor calidad que las obtenidas del nopal, aunque existen variaciones importantes en cuanto al pH, tiempo y temperatura de hidrólisis en la extracción, se debería estandarizar el método apropiado para obtener tanto mejores rendimientos como mejor calidad de pectinas de alto metoxilo de ambos, ya que obteniendo pectinas de alto metoxilo pueden ser empleadas en gran variedad de productos de la industria alimenticia previamente descritos, entre los que destacan aditivo en mermeladas.

Por otro lado, la semilla de la tuna presenta muy buen rendimiento en cuanto a la extracción de aceites, esto puede ser muy útil para la elaboración algún producto alimenticio, por ejemplo, algún pan, galletas, etc., pero teniendo en cuenta la cantidad empleada debido a su alta cantidad de ácidos grasos saturados que contiene.

Palabras clave. Extracción, pectinas, nopal, cáscara, tuna.

ABSTRACT

Pectin is a polysaccharide found in the cell walls of plants used in the food industry as gelling and thickening. Prickly Pear (*Opuntia* sp.), Is the fruit of the nopal, it belongs to the family Cactaceae. This fruit is regarded in Mexico as one of the centers of origin.

Proximate analysis of the shell of prickly pear and nopal based on the techniques described in the manual of the AOAC (Moisture, ash, protein, fiber, ether extract, nitrogen free extract) was determined. The pectin extraction process was developed by acid hydrolysis. Confirmation of the structure of pectin is performed by the following analysis: content of anhydrous galacturonic (Schultz method), percentage of methoxyl (Schultz method), degree of gelation and infrared spectrum by Fourier transform (FTIR). When comparing pectins nopal and prickly pear peel resulted from very similar characteristics, and found similarities with commercial pectin.

This research sheds can be achieved to obtain high methoxyl pectins shell tuna and of better quality than those obtained from the nopal, although there are significant variations in the pH, time and temperature hydrolysis in the extraction, should standardize appropriate for both better performance and better quality of high methoxyl pectins of both method as high methoxyl pectins obtained can be used in many food industry products previously described, among which are additive in jams.

On the other hand, the seed of tuna has very good performance in terms of oil extraction, this can be very useful for preparing a food product, for example, some bread, cookies, etc., but considering the amount used because of its high amount of saturated fatty acids containing.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1. NOPAL.....	3
1.1. Taxonomía del nopal	3
1.2. Características morfológicas del nopal	4
1.3. Composición química del nopal	8
1.4. Requerimientos Agro-Climáticos.....	9
2. EL FRUTO DEL NOPAL: LA TUNA	12
2.1 Características morfológicas de la tuna	15
2.2. Aplicaciones industriales.....	16
3. FIBRA	18
3.1. Fibra insoluble.....	19
3.1.1. Celulosa.....	19
3.1.2. Lignina	21
3.1.3. Hemicelulosas	22
3.1.4. Fibra soluble	23
3.1.5. Pectinas.....	23
3.1.6. Gomas	24
3.1.7. Derivados de algas	26
3.1.8. Mucílagos	26
3.1.9. Fructosanos.....	27
3.1.10. Almidón resistente	28
3.2. Función fisiológica de la fibra.....	29
4. PECTINAS.....	30
4.1. Sustancias pécticas	31
4.1.1. Protopectina	31
4.1.2. Ácido pectínico	31

4.1.3. Ácido péctico	31
4.2. Localización y estructura de las pectinas.....	31
4.3. Propiedades físicas y químicas.....	33
4.3.1. Grado de esterificación	33
4.3.2. Viscosidad de la pectina	33
4.3.3. Gelificación de la pectina.....	34
4.4. Clasificación y sus propiedades.....	35
4.4.1. Pectinas de bajo metoxilo	36
4.4.2. Pectinas de alto metoxilo	36
4.5. Aplicaciones en la industria alimentaria	36
II. JUSTIFICACIÓN	38
III. HIPÓTESIS	39
IV. OBJETIVOS	40
1. Objetivo general.....	40
2. Objetivos particulares	40
V. MATERIAL Y MÉTODOS.....	41
1. Materiales y equipos utilizados	41
1.1. materiales	41
1.2. Equipo utilizado.....	41
2. Métodos	42
2.1. Análisis ALOMÉTRICA y fisicoquímicas de la tuna	43
2.2. Análisis proximal	44
2.3. Perfil de lípidos por cromatografía de gases.....	45
2.4. Extracción de pectina.....	45
2.5. Análisis de espectro infrarrojo.....	45
2.6. Caracterización de la pectina.....	45
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
1. ALOMÉTRICA y fisicoquímica de LA tuna.....	47

2. Análisis proximal	47
2.1. cáscara de tuna	47
2.2. semilla de tuna.....	48
3. Perfil lípidos por cromatografía de gases.....	49
4. Extracción de pectinas.....	50
5. Análisis de espectro infrarrojo.....	51
6. Caracterización de la pectina.....	52
VII. CONCLUSIONES.....	55
VIII. EXPECTATIVAS DE CONTINUACIÓN.....	56
IX. BIBLIOGRAFIA.....	57

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Partes del nopal.....	4
Imagen 2. Raíces del nopal (Vásquez, 2011).....	4
Imagen 3. Pisos que conforman al nopal	6
Imagen 4. Hojas del nopal	6
Imagen 5. Hojas del nopal	7
Imagen 6. Diversidad de colores de la tuna.	7
Imagen 7. Propagación del nopal.....	11
Imagen 8. Opuntia ficus-índica.....	13
Imagen 9. Opuntia megacantha.	14
Imagen 10. Opuntia amyclaea.....	14
Imagen 11. Estructura de la celulosa	20
Imagen 12. Precursores de la lignina.	21
Imagen 13. Estructura propuesta para la lignina.	22
Imagen 14. Estructura de la pectina.....	24
Imagen 15. Estructura de los mucílagos	27
Imagen 16. Estructura lineal de la pectina.	32
Imagen 17. Materias primas utilizadas.....	42
Imagen 18. Mediciones realizadas a la tuna.	43
Imagen 19. Cortes realizados para desprender la cáscara.	43

Imagen 20. Procesamiento de la cáscara de tuna.	44
Imagen 21. Pectina de cáscara de tuna	50
Imagen 22. Pectina de nopal.....	50

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Espectro infrarrojo pectina de nopal	51
Gráfica 2. Espectro infrarrojo pectina cáscara de tuna.....	52
Gráfica 3.Diferencia significativa % de metoxilos de las pectinas	53
Gráfica 4. Diferencia significativa % de ácido galacturónico de las pectinas ...	53
Gráfica 5. Diferencia significativa grado de esterificación de las pectinas	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del nopal	3
Tabla 2. Composición química de las diferentes partes del nopal.....	8
Tabla 3. Composición nutricional en 100 g de porción comestible de tuna.....	12
Tabla 4. Principales gomas empleadas en alimentos	25
Tabla 5. Funciones y aplicación de las gomas en los alimentos	26
Tabla 6. Parámetros alométricos de la tuna.....	47
Tabla 7. Análisis proximal de la cáscara de tuna	48
Tabla 8. Análisis proximal de la semilla de tuna.....	49
Tabla 9. Perfil de ácidos grasos obtenidos del aceite de la semilla de tuna.....	49
Tabla 10. Análisis fisicoquímico de la pectina de nopal y cáscara de tuna	52

I. INTRODUCCIÓN

El nopal es una planta muy importante para la cultura mexicana, ya que la historia y las tradiciones mexicanas fueron influenciadas su presencia. En la vida social, económica y religiosa de los aztecas esta planta jugó un papel muy importante a tal extremo que la señal donde se debería establecer la Gran Tenochtitlán (actualmente la Ciudad de México) era un águila sobre un nopal devorando una serpiente. Este símbolo se encuentra plasmado en el escudo nacional mexicano (Arias, 2013).

El nopal es ahora parte del ambiente natural, y se ha integrado a la cultura de muchos países donde se adaptó perfectamente a zonas áridas caracterizadas por condiciones de sequía, lluvia errática y suelos pobres expuestos a la erosión, y que ahora la encontramos en el paisaje como parte de la flora (Arias, 2013).

Han motivado significativamente las investigaciones, observándose en la actualidad una proliferación de artículos científicos y técnicos en los que se hace énfasis a formas novedosas para el incremento del rendimiento agrícola, adaptabilidad y desarrollo de la planta, erradicación de enfermedades, mejoramiento de la cosecha, calidad en las operaciones de pos cosecha e industrialización. Todo ello con el propósito de continuar diversificando el mercado de productos frutícolas, tanto en forma fresca como procesados.

En la literatura popular, basada o no en resultados de investigación, se describen un sinnúmero de propiedades benéficas para la salud humana como su influencia en el control de la diabetes, obesidad, presión arterial, colesterol, estreñimiento, cáncer de próstata, colon y estómago, entre otras. Además, se ha dicho que es un afrodisiaco y que resuelve problemas de riñón y de la excesiva ingestión de alcohol. Con esos argumentos se le vende como un complemento alimenticio. Independientemente de ello debería ser primeramente considerarlo como un alimento que aporta vitaminas y minerales, como lo son otras tantas frutas y verduras esperando que los trabajos de investigación comprueben las creencias populares (Arias, 2013).

El nopal y la tuna son materias primas muy utilizadas en México en el aspecto alimenticio, por su alta disponibilidad y ser uno de los mayores productores de dichos alimentos. Así como su amplia extensión de tierras utilizadas para su cultivo.

El presente trabajo está encaminado al aprovechamiento de los desechos que genera la tuna y su incorporación a la industria alimenticia. Así como, analizando tanto alométrica como fisicoquímicamente las diversas partes de esta, en este caso de la cáscara y las semillas de la tuna, para tener un panorama amplio de las características que poseen cada una de estas. Las pectinas debido a su amplia e importante participación es una materia prima muy utilizada para la elaboración de diversos productos en industria alimentaria y se pretende analizar la semilla para la extracción de aceites, y conocer las características de los mismos.

1. NOPAL

El Nopal o planta de tuna es una cactácea, endémica de América. Existen 258 especies reconocidas, 100 de las cuales se encuentran en México, quien cuenta con una superficie aproximada de 10.000 ha de plantaciones especializadas en Nopal para consumo humano (Lozano, 2013). El nopal cuenta con propiedades importantes para promover la conservación de los suelos ya que, debido a su rusticidad, su poca demanda de nutrientes y de humedad resulta ser un cultivo adecuado en programas alternativos de reconversión productiva para aquellos suelos con baja fertilidad o pendientes pronunciadas que a causa de ser utilizados con cultivos básicos han sido erosionados, dañando además su flora y fauna silvestre (Andrade y Paisano, 2008). Por esto puede ser un cultivo alternativo de diversos estados de la República Mexicana (Lozano, 2013).

1.1. TAXONOMÍA DEL NOPAL

Tabla 1. Taxonomía del nopal

REINO	Vegetal
SUBREINO	Embryophyta
DIVISION	Angiospermae
CLASE	Dicotyledonea
SUBCLASE	Dialipetalas
ORDEN	Opuntiales
FAMILIA	Cactaceae
SUBFAMILIA	Opuntioideae
TRIBU	Opuntiae
GENERO	Opuntia

(Andrade y Paisano, 2008)

El nombre *Opuntia* lo debemos a Tournefort, en 1700, aunque su aceptación bajo el sistema binomial que Linneo estableció en 1753, fue efectuada por Philip Miller en 1754 (Linneo no aceptó *Opuntia*, sino solo un género: *Cactus*, dentro del cual consideró a "*Cactus ficus-indica*") (Kiesling, 2013).

Para los nopales existen 2 géneros *Opuntia* y *Nopalea*. El género *Opuntia* en México presenta 5 subgéneros, 17 series y 104 especies. El género *Nopalea* presenta 10

especies de las cuales la *Nopalea cochenillifera* se utiliza como nopal verdura. De las 104 especies de *Opuntia* y 10 de *Nopalea*, se utilizan para forraje 15 especies, 5 para fruta y 3 para verdura de las cuales 2 pertenecen a *Opuntia* y 1 a *Nopalea* (Vásquez, 2011).

1.2. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL NOPAL

El nopal es un vegetal arborescente de 3-5 m de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20-50 cm (Robles y E., 2009), está conformado por diversas partes, de forma ascendente podemos encontrar primero la raíz, tallo, los cladodios o pencas, la flor y fruto. La imagen 1 muestra ilustrativamente las partes que conforman al nopal.

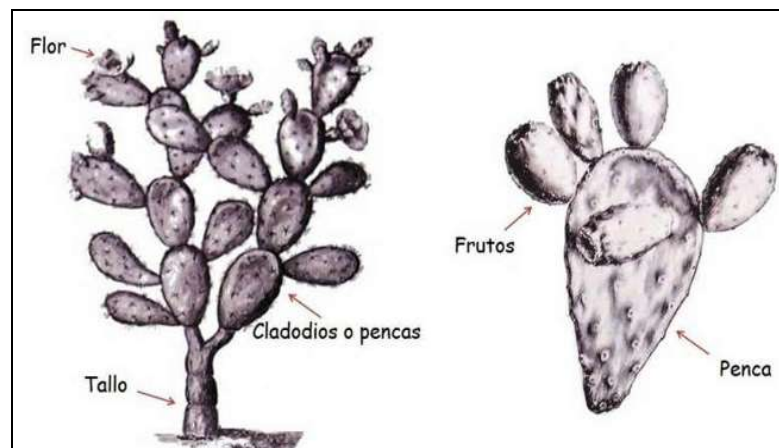


Imagen 1. Partes del nopal.

1.2.1. RAÍCES

Las raíces son fibrosas, no profundizan y de rápido crecimiento.



Imagen 2. Raíces del nopal (Vásquez, 2011).

1.2.2. TALLO

El tallo, a diferencia de otras especies de cactáceas, está conformado por un tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde de función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos (Robles y E., 2009), es semi-leñoso, conformado por cladodios (Vásquez, 2011).

1.2.3. CLADODIOS

Los cladodios o pencas, de 30-60 cm de largo por 20-40 cm de ancho y de 2-3 cm de espesor. En los cladodios las yemas se ubican reticularmente en concavidades ligeras denominadas aréolas, en las cuales se encuentran pequeñas espinas llamadas gloquidios, y espinas de tamaño variable, que pueden superar los 5cm de longitud, las que pueden ser caedizas o perennes de acuerdo a la especie (Vásquez, 2011). Estas estructuras transforman la luz en energía química a través de la fotosíntesis y están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de estomas, los mismos que permanecen cerrados durante el día. La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano. La hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso. El sistema radicular es profundo; no obstante, dependiendo de la humedad ambiental, pueden desarrollar raíces laterales superficiales (Robles y E., 2009).

Los cladodios están ubicados en forma escalonada conformando los denominados pisos (Vásquez, 2011):

- Ultimo piso: pencas de la última brotación.
- Penúltimo piso: o “subterminales”, pencas de la brotación anterior, presentan brotes y flores de la época de floración. Estas pencas son las más adecuadas para la evaluación morfo métrica de los cultivares y para el desarrollo de la cochinilla.
- Antepenúltimo piso: las pencas contienen brotes, flores y frutos.

- Tras antepenúltimo piso: las pencas de este piso a veces presentan brotes; por lo general no presentan flores ni muestran una carga aceptable de cochinilla.
- Tronco: pencas que forman la estructura basal de la planta, tienen forma más o menos cilíndrica y han perdido el color verde, con una gruesa corteza que normalmente está provista de espinas (Vásquez, 2011).



Imagen 3. Pisos que conforman al nopal (Vásquez, 2011).

1.2.4. HOJAS

Las hojas son pequeñas, de forma cónica, ápice agudo y se ubican en cada una de las aréolas de los botones tanto vegetativos como florales (Vásquez, 2011). Solo en cladodios internos, transformadas en espinas en forma de garra, engrosadas en su base, para defensa; las caducas solo se observan sobre tallos tiernos. Cuando se produce renovación de pencas, en cuyas axilas se hallan las areolas de las cuales brotan las espinas, de aproximadamente 4-5mm de longitud. Las hojas desaparecen cuando las pencas han alcanzado un grado de desarrollo y en cuyo lugar quedan las espinas (Robles y E., 2009).



Imagen 4. Hojas del nopal (Vásquez, 2011).

1.2.5. FLORES

Son solitarias, localizadas en la parte superior de la penca, de 6-7cm de longitud. Cada areola produce por lo general una flor, aunque no en una misma época de floración, unas pueden brotar el primer año, otras el segundo y tercero. Las flores se abren a los 35-45 días de su brotación. Sus pétalos son de colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa. Sépalos numerosos de color amarillo claro a rojizo o blanco (Robles y E., 2009). Son grandes; el ovario es inferior, unilocular, con muchos óvulos y lóbulos del estigma (5-10); el androceo posee gran cantidad de estambres. Son hermafroditas (Vásquez, 2011).



Imagen 5. Hojas del nopal (Vásquez, 2011).

1.2.6. FRUTO

El fruto es definido como una baya carnosa, esférica, cilíndrica o piriforme, presenta en el extremo apical una depresión a la que se denomina “ombligo” y de profundidad variable, mayor en los frutos piriformes y menor en los esféricos. Sus dimensiones y coloración varían según la especie; presentan espinas finas y frágiles. Pulpa gelatinosa. De cáscara gruesa, cubierta de gloquidios. De color amarillo canario, amarillo limón, anaranjado, rojo, guinda, rojo-morado, verde tierno, blanco verdoso (Vásquez, 2011).



Imagen 6. Diversidad de colores de la tuna.

1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL NOPAL

La tabla 2.2 muestra la composición química de las diferentes partes que conforman el nopal empezando desde la raíz hasta el fruto.

Tabla 2. Composición química de las diferentes partes que conforman al nopal

PARTE DE LA PLANTA	COMPONENTES BIOACTIVOS	PRINCIPAL COMPUESTO IDENTIFICADO
Raíces	Flavonoides	
Cladodios o paletas	Mucílago y pectinas	polisacáridos
	Fibra dietaria	Fibra dietaria insoluble
	Clorofilas	Clorofilas a
	Minerales	K, Ca, Mg
	Flavonoides	Kaempherol, glucósidos de isoramnetina
	Compuestos fenólicos	Ácido gálico, cumárico, 3,4-dihidroxibenzoico, 4-hidroxibenzoico, ferúlico, y salicílico, isoquercetina, isoramnetina-3-Oglucosido, nicotiflorina, narcisina y rutina
Flores	Flavonoides	Quercetina, glicósidos de isoramnetina y kaemferol
	Betalaínas	Betanina, filocactina
Fruto	Betalaínas	Betaxantinas (Indicaxantina) Betacianinas (Betanina, Isobetanina)
	Polifenoles	Ácido Ferúlico, glucósidos de isoramnetina
	Vitamina C	Ácido ascórbico
	Fibra	
	Mucilago	
	Minerales	K, Ca, Mg
	Tocoferoles	δ-Tocoferol
	Fitoesteroles	β-Sitosterol
Piel del fruto	Polisacáridos	Derivados ricos en arabinano
	Lípidos	Lípidos insaturados

Semillas	Lípidos	Lípidos Poliinsaturados (Ácido Linoléico) y Monoinsaturados (Ácido oleico)
	Fitoesteroles	β-Sitosterol
	Tocoferoles	γ-Tocoferol
	Polisacáridos	Derivados ricos en arabinano

(Nazareno, 2013)

1.4. REQUERIMIENTOS AGRO-CLIMÁTICOS

Se menciona que la tuna ha desarrollado características que le permiten adaptarse a la escasa disponibilidad de agua, variaciones extremas de temperatura y a zonas áridas. Es eficiente al evitar el excesivo calentamiento del sol y al defender las partes blandas de predadores. Son suculentas por la proliferación celular masiva de ciertos tejidos del parénquima, aumentando el tamaño de las vacuolas y disminuyendo espacios intercelulares. Esto le permite acumular grandes cantidades de agua en forma rápida durante breves periodos de humedad (Vásquez, 2011).

Este tipo de cactáceo se encuentra en diferentes condiciones extremas, ya sea de clima o suelo, aunque generalmente se desarrolla en las regiones subtropicales de clima árido y semiárido donde las precipitaciones pluviales alcanzan entre 400 y 750 mm anuales y de 13 a 18°C (Andrade y Paisano, 2008).

Estas especies vegetales han desarrollado una adaptación fenológica, fisiológica y estructural favorable para su crecimiento en zonas áridas y semiáridas donde el agua es el principal factor limitante para la mayoría de las plantas.

- Clima: Templado y subtropical
- Temperatura: 16-26 °C, optima 22 °C
- Humedad relativa: 55-85%
- Precipitación pluvial: 350-500 mm/año
- Luminosidad: requiere alta luminosidad

- Altitud: 1700 a 2500 m.s.n.m Tropical (Seco, semiseco y templado)
- Formación ecológica: Matorral desértico tropical, monte espinoso tropical, bosque espinoso pre-montaña, estepa espinosa montaña bajo

(Vásquez, 2011)

En cuanto a los aspectos edafológicos adecuados para la producción de este cultivo tenemos:

- Textura: Arenosos, pedregosos, de fácil drenaje, poco profundos, calizos
- Fertilidad: Buena fertilidad
- Profundidad: Poco profundo
- Drenaje: Buen drenaje
- Reacción pH: 6.5-7.5
- La tuna prospera en todo tipo de suelo prefiriendo suelos calcáreos

(Vásquez, 2011)

1.4.1. CULTIVO DEL NOPAL

Se realizan diversas actividades para el cultivo del nopal:

1. Propagación ya sea por semillas o por pencas
2. Preparación del terreno
3. Plantación
4. Fertilización
5. Riego
6. Podas
7. Cosecha

En cuanto a la producción una planta adulta produce un promedio de 200 frutos/año, infiriéndose que en 1 ha bien manejada, con una densidad de 1000 plantas/ha, puede brindar una producción de 300,000 frutos/ha, de los 2 a 3 años de edad (Vásquez, 2011).

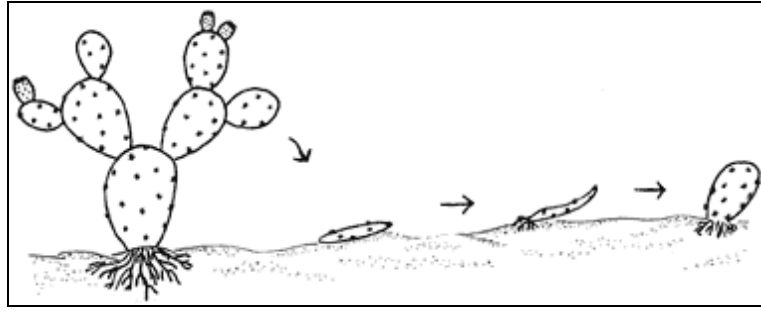


Imagen 7. Propagación del nopal.

2. EL FRUTO DEL NOPAL: LA TUNA

Al fruto perteneciente a esta familia se le denomina genéricamente *Opuntia spp.* En México es conocido comúnmente con el nombre de “tuna” (Andrade y Paisano, 2008). Se le conoce también con los nombres de *cactus pear*, *prickly pear* y *ficod'india* (Aquino et al, 2012). La tuna es una baya polispérmica, carnosas ovoide o piriforme, de dimensiones variables, con un peso promedio de 100-250g (Nazareno, 2013), con la epidermis normalmente poblada de pequeñas espinas llamadas gloquidios y cuya pulpa puede ser blanca, amarilla, naranja, roja o purpúrea, es jugosa, comestible y con numerosas semillas (Andrade y Paisano, 2008).

Han establecido que los principales atributos para la tuna son: porcentaje de pulpa mayor 55%; °Brix mayores a 13%; contenido de semillas menor a 3.5 g por 100 g de pulpa. La gran variabilidad en los porcentajes depende de: cultivar, prácticas culturales, número de semillas, fecundadas y en formación, cantidad de frutas por plantas, fotoperiodo, clima y estación de cosecha (Cerezal y Duarte, 2005).

Tabla 3. Composición nutricional en 100 g de porción comestible de tuna

	Fuente A	Fuente B
Calorías	58	67
Agua	83	81
Proteínas	0.8	1.1
Grasas	0.0	0.4
Carbohidratos	15	17
Fibra	3.8	1.1
Cenizas	1.0	0.5
Calcio	28	57
Fósforo	33	32
Hierro	0.3	1.2
Caroteno	0.01	0.0
Tiamina	0.01	0.01
Riboflavina	0.04	0.02
Niacina	0.39	0.30
Ácido ascórbico reducido	19	18

(Vásquez, 2011)

Presenta altos niveles de ácido ascórbico, fibra y algunos aminoácidos (prolina, glutamina y taurina, derivado de la cisteína), así como también calcio y magnesio. Debido a su alto contenido de fibra y polifenoles, la tuna es considerada como un alimento funcional y se ha reportado que su consumo reduce el azúcar en la sangre y los niveles de colesterol (Aquino et al, 2012).

Las tunas, además de ser ricas en nutrientes como azúcares, vitaminas y aminoácidos, poseen compuestos antioxidantes como polifenoles y betalaínas. Las betalaínas son pigmentos nitrogenados que le otorgan a estos frutos una gran variedad de colores además de propiedades funcionales. Los frutos de cactáceas presentan valores superiores de actividad antioxidante que muchas frutas tradicionales, atribuida a la presencia de vitamina C, carotenoides, flavonoides, y betalaínas (Nazareno, 2013).

Entre las variedades de tunas más comunes y con mayor demanda se encuentran:

***Opuntia ficus-índica*:** Cuyos frutos son generalmente de color verde claro, aunque en algunas variedades son amarillentos o rosados; se les conoce con el nombre de “tuna fina”, “tuna blanca”, “tuna mansa” o “tuna de Castilla”. Se cultiva generalmente en todo el altiplano.



Imagen 8. *Opuntia ficus-índica*.

***Opuntia megacantha*:** Cuyos frutos presentan características similares a *Opuntia ficus-índica*, recibiendo los mismos nombres comunes. Se cultiva principalmente en la población del sureste del estado de Zacatecas, en el Valle del Mezquital, Hidalgo y en los alrededores de San Juan Teotihuacán en el Edo. de México.



Imagen 9. *Opuntia megacantha*.

***Opuntia amyclaea*:** que parece ser tan solo una forma hortícola de *Opuntia megacantha* y un posible sinónimo de *Opuntia alfajayucca*, que produce frutos maduros de color verde claro, comúnmente llamados “tuna de Alfajayucca”, “tuna blanca” y “tuna mansa” (Andrade et al, 2008).



Imagen 10. *Opuntia amyclaea*.

La cosecha de la tuna varía de acuerdo a la zona del país y se divide en sur y centro. La primera comienza a mediados del mes de mayo, que es cuando el fruto toma su coloración amarilla y finaliza en agosto: la segunda inicia en julio y termina en septiembre. En la región centro, la cosecha es desde finales de agosto hasta inicios del mes de noviembre. Las tunas son frutos no climatéricos y dependiendo de su especie presentan diferentes características (Andrade et al, 2008).

2.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA TUNA

2.1.1. PULPA

Como muchas frutas, la tuna está compuesta de una parte carnosa denominada pulpa, representa entre 45-67% del peso total de la tuna, en la que se encuentran insertas un gran número de semillas, protegida por una corteza de mayor dureza conocida como pericarpio o cáscara (Cerezal y Duarte, 2005).

2.1.2. CÁSCARA

El pericarpio o cáscara de las tunas, con madurez comercial, representa entre 33-55% del peso de la tuna. En cambio, poco se informa de una capa más externa y delgada que cubre a la cáscara a la que se ha denominado piel en la que se encuentran las espinas y gloquidios (Cerezal y Duarte, 2005).

También han planteado que en la medida que la corteza es más gruesa, el rendimiento en pulpa disminuye hasta valores que pueden situarse en un intervalo de 38 a 41% (Cerezal y Duarte, 2005).

2.1.3. SEMILLAS

Las semillas poseen una cubierta muy dura, tienen forma reniforme e irregular, con 4 a 6mm de largo, 3 a 4mm de ancho y 1.8 a 2.5mm de espesor (Vásquez, 2011), representan entre 2 a 10% del peso de la tuna (Cerezal y Duarte, 2005).

Después del procesamiento de las tunas para la preparación de jugos y mermelada, se descartan normalmente grandes cantidades de semillas. Los frutos contienen un

gran número de semillas, aunque su contenido de aceite es relativamente bajo, la composición de ácidos grasos indica que tiene potencial como aceite para el mercado de productos de la salud (Nazareno, 2013).

2.2. APLICACIONES INDUSTRIALES

El aprovechamiento del fruto de la tuna posee un gran potencial y actualmente se puede clasificar en dos: productos de la industria alimentaria tradicional y tecnificada y también en productos de la industria extractiva y de la biotecnología (Andrade y Paisano, 2008).

Productos de la industria alimentaria:

- Coloche: es un fermentado alcohólico artesanal a base de tuna.
- Melcocha: este producto es un preparado a base de pulpa de tuna con una alta viscosidad, tiene una coloración café claro u oscura y se asemeja a la cajeta, puede contener semillas propias del fruto y resulta ser un producto intermedio en la elaboración del queso de tuna.
- Queso de tuna: la melcocha se enfría y se masajea, como resultado de ellos se pierde humedad y se convierte en una masa chiclosa que se coloca en moldes para su secado y su posterior envoltura.
- Mermelada de tuna: este tipo de mermelada se procesa a nivel artesanal y se comienza a procesar a nivel industrial en los lugares donde se cosecha tuna.
- Jugo de tuna: es un producto reciente con alto potencial productivo además de ser un sabor nuevo. Con él se evitan los problemas ocasionados por la presencia de cáscara, ahuates, y semillas, incluyendo problemas fitosanitarios.
- Yogurt: recientemente empresas incursionaron en el mercado de productos con frutas mexicanas incluyendo la tuna (Andrade y Paisano, 2008).

Productos de la industria extractiva y de la biotecnología:

- De este fruto es posible obtener azúcares (glucosa y fructosa) que pueden ser usados para producir proteína unicelular, alcohol, jarabes fructosados (aditivos edulcorantes o espesantes) para la industria alimentaria, mucilagos, celulosa, aceite comestible de la semilla, colorantes y pectinas
- Teniendo una optimización del proceso de extracción de mucilagos y pectinas, estas pueden ser utilizadas como gelificante y espesantes en la industria alimentaria.
- En el campo de los colorantes, surge la necesidad de encontrar colorantes de origen natural y entre las posibles fuentes de pigmentos rojos se encuentran frutos de algunas especies *Opuntia* (Andrade y Paisano, 2008).

3. FIBRA

En 1972 Trowell define la fibra como “porción de alimento derivado de la pared celular de las plantas, que es digerido muy pobremente por los seres humanos”. Poco tiempo después se refirió al grupo de “sustancias de la pared celular que resisten la digestión en el intestino superior del hombre” (Gómez y cols., 2005).

Las plantas son la fuente principal de fibra, debido fundamentalmente a la estructura polisacárida de la pared celular y a otros polisacáridos de almacenamiento o secreción (Gómez y cols., 2005).

Actualmente se define la fibra basándose en dos tipos de conceptos: estructural y fisiológico. Según la primera tendencia se consideraría fibra a los “polisacáridos no almidón de la pared celular de las plantas”, definición de gran aceptación internacional, y según la segunda, basada en efectos fisiológicos y consecuencias nutricionales, se valora la mala absorción y consideraría a los polisacáridos y la lignina que no son digeridos por las enzimas del intestino humano (Gómez y cols., 2005).

La fibra procede de dos grandes grupos de alimentos: frutas, verduras y legumbres, y cereales y de sus derivados. El origen de la fibra está tanto en las hojas de los vegetales, como en sus raíces, tallo, frutas y semillas. La cantidad de fibra en cada parte del vegetal no es constante ya que depende además del tipo del vegetal, de su grado de madurez, temperatura y humedad ambiental (Fleta y Bueno-Lozano, 2007).

Los cereales contienen un gran porcentaje y las verduras y frutas poseen gran cantidad de agua, por lo que la fibra es proporcionalmente menor. Las frutas son una fuente relativamente pobre de celulosa, pero son ricas en lignina, sobre todo la pera y melocotón. Las verduras más habituales en nuestro medio con mayor contenido en celulosa son la zanahoria, coliflor, lechuga y patata. De los frutos secos las almendras, avellanas, cacahuates y nueces son la mayor fuente de fibra por su revestimiento en lignina (Fleta y Bueno-Lozano, 2007).

Al valorar las características químicas de la fibra puede ser útil diferenciarlas en dos grupos, basándose en la solubilidad en agua: Insoluble y soluble (Gómez y cols., 2005). No debemos olvidar que todos los alimentos derivados de las plantas contienen una mezcla de diferentes tipos de fibra, y que la cantidad de ésta dependerá del tipo de tejido y de la madurez del vegetal (Gómez y cols., 2005).

La mayoría de los alimentos contienen una mezcla de fibra soluble e insoluble porcentualmente diferente. Así, con el contenido en fibra soluble respecto a la fibra total es del 32% en los cereales, 32% en los vegetales, 25% en las legumbres y 38% en las frutas. Las pectinas, gomas o mucílagos, son otra fuente adicional de fibra soluble, al ser utilizadas como aditivos para modificar la textura de los alimentos, aunque rara vez llega a suponer más de un 2% de la fibra total consumida (Gómez y cols., 2005).

3.1. FIBRA INSOLUBLE

Este tipo de fibra, aunque insoluble, es capaz de retener debido a su estructura, una pequeña cantidad de agua. Como no es atacada por la flora intestinal en el colon, se excreta como tal por las heces, contribuyendo a que estas sean más voluminosas. Este hecho permite aumentar la motilidad intestinal sobre todo del colon, ayudando de esta manera a prevenir y aliviar ciertos trastornos digestivos como el estreñimiento (Mataix, 2005).

Integradas por celulosa, algunas hemicelulosas y lignina, es aportada sobre todo por cereales y derivados (pan, pastas, arroz, etc.), especialmente las variedades integrales (Mataix, 2005).

3.1.1. CELULOSA

Es un polímero lineal (incluso de más de 100,000 unidades), con unidades beta 1-4 entre las moléculas de glucosa. Su estructura química la hace muy insoluble. Se encuentra fundamentalmente en frutas, vegetales y cereales (Gómez y cols., 2005). Es el compuesto orgánico mas abundante en la naturaleza y ademas se renueva permanentemente mediante la fotosíntesis. A diferencia de los animales

monogástricos, el hombre, los herbívoros rumiantes son los únicos capaces de aprovecharla en su metabolismo porque cuentan con las correspondientes celulasas gastrointestinales; para el organismo humano la celulosa es parte de la fibra cruda, por lo que se elimina en las heces sin haber sido aprovechada (Badui, 2013).

La celulosa forma parte de las paredes celulares de cereales, frutas y verduras. Representa 1.0, 2.5 y 2.0% del arroz, el maíz y el trigo, respectivamente, y se localiza en el pericarpio y en el germen junto con las hemicelulosas y la lignina. De forma comercial se obtiene de la madera y del algodón, de los que este último es la fuente más pura. Al igual que la amilosa, la celulosa es un homopolisacárido lineal de unidades de D-glucopiranosas, con la diferencia de que sus monómeros se unen mediante enlaces glucosídicos $\beta(1,4)$; su peso molecular llega a ser de varios millones y su alta resistencia mecánica y química se debe a que las cadenas paralelas se alinean sobre un eje longitudinal y establecen un gran número de puentes de hidrógeno intermoleculares, lo que da origen a microfibrillas altamente estructuradas. Tiene zonas cristalinas y amorfas: las primeras se producen cuando las moléculas se entrelazan con un alto grado de ordenación, mientras que en las segundas no existe tal orden. A pesar de tener muchos hidroxilos libres es muy poco soluble en agua, debido a que estos grupos no se hidratan porque actúan entre sí de manera interna y forman las fibras (Badui, 2013).

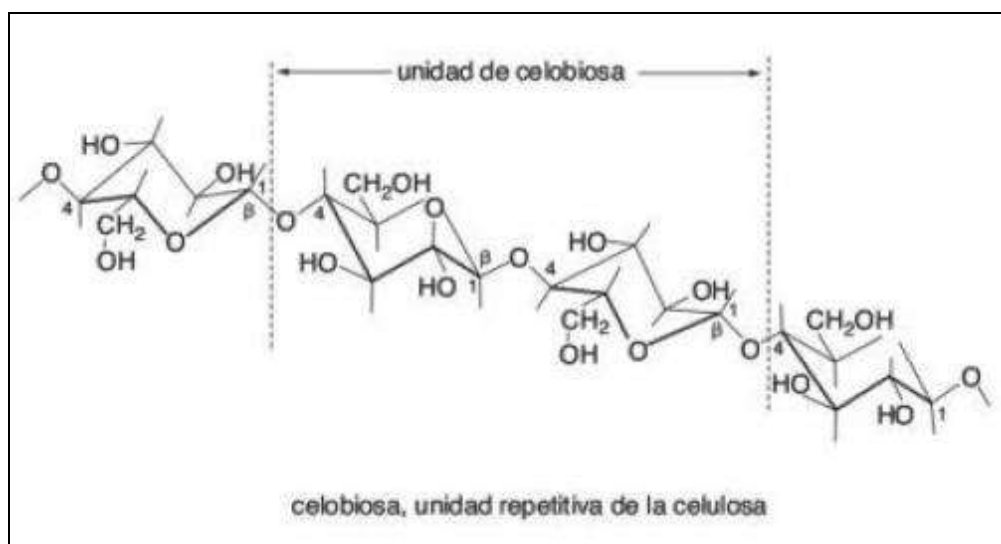


Imagen 11. Estructura de la celulosa (Badui, 2013).

Como aditivo, la celulosa se emplea en forma de sus derivados, principalmente la carboximetilcelulosa (CMC), ésta actúa como aglutinante, como espesante y estabilizante y forma películas resistentes; se utiliza en las tortillas de maíz por su capacidad de retención de agua, en la elaboración de rellenos de pasteles, en productos de panificación, como sustituto de grasa, en productos lácteos, helados, salsas, aderezos y entre otros (Badui, 2013).

3.1.2. LIGNINA

No es un polisacárido. Se trata de un polímero del fenil-propano, siendo esta polimerización tan variada que no existe ningún método único para analizar químicamente las variedades de ligninas. Esto, asociado al hecho de que sus efectos fisiológicos no son bien conocidos, hace que algunos autores se resistan a considerarla parte de la fibra. Sin embargo, es muy parecida a la hemicelulosa y está íntimamente asociada a ella en la pared celular. La mayoría de los alimentos contienen mínimas cantidades de lignina, pero ésta actúa de forma determinante en su digestibilidad, y puede ser importante en los procesos de carcinogénesis (Gómez y cols., 2005).

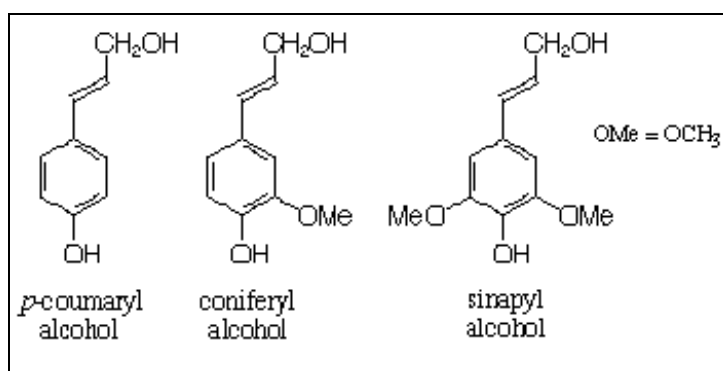


Imagen 12. Precursores de la lignina.

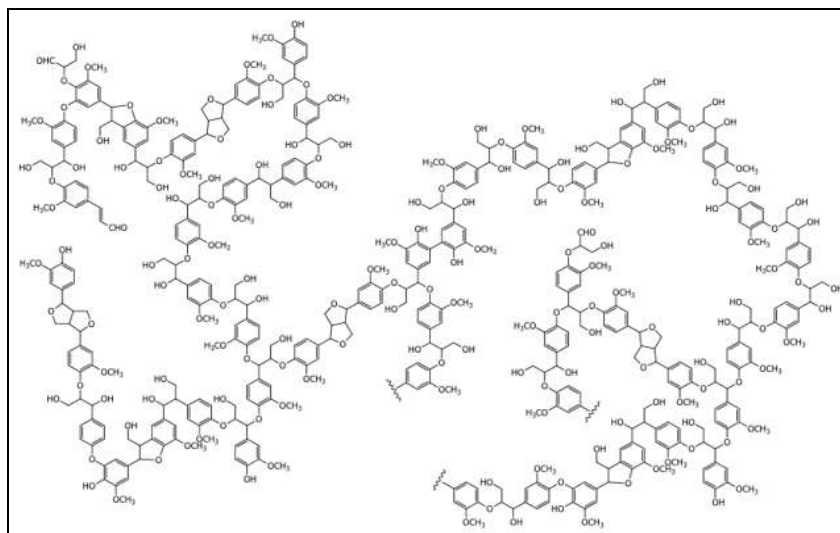


Imagen 13. Estructura propuesta para la lignina.

3.1.3. HEMICELULOSAS

Término que se emplea para referirse a heteropolisacáridos, parte de la fibra dietética, que se localizan en la pared celular vegetal donde actúan como agente cementante y se encuentran junto con la celulosa y las pectinas (Badui, 2013). Son un grupo heterogéneo de moléculas llamadas así por ser solubles en medio ácido o alcalino y no serlo en agua. Son compuestos de monosacáridos no glucosas (de 500-200 unidades), con cadenas laterales (Gómez y cols., 2005). Su composición se basa en la unión glucosídica $\beta(1,4)$ de distintos monosacáridos, sobre todo pentosas (arabinosa y xilosa), hexosas (glucosa, manosa y galactosa), ácidos urónicos (galacturónico y glucurónico) y algunos desoxi-azúcares (Badui, 2013). Un ejemplo son los Beta-glucanos hemicelulosas que son polímeros puros de glucosa con una estructura ramificada y de menos tamaño que la celulosa (Gómez y cols., 2005).

El contenido de hemicelulosas cambia con la maduración de los vegetales. Presenta una alta capacidad de retención de agua, aun cuando varía con el vegetal: por ejemplo, la hemicelulosa de los frijoles retiene 3.3 g de agua por gramo de polímero, mientras que la de la col 12 g y la del trigo 23 g. Esto hace que sean importantes constituyentes de la fibra dietética, ya que al retener agua forman un bolo que provoca la rápida evacuación fecal (Badui, 2013).

3.1.4. FIBRA SOLUBLE

Comprende pectinas, diversas hemicelulosas, gomas y mucílagos fundamentalmente. Se encuentran sobre todo en legumbres, frutas (manzanas, naranjas, plátanos, etc.), verduras (espinacas, coliflor, etc.) y cereales (cebada y avena) (Mataix, 2005).

Cuando este tipo de fibra entra en contacto con el agua forma un gel que aumenta enormemente el volumen de la fibra ingerida, afectando así a la motricidad intestinal y reduciendo el tiempo de tránsito de los contenidos intestinales (Mataix, 2005).

La fibra de tipo soluble en conjunto, cuando llega al colon, es fermentada por la flora colónica lo que da lugar a distintos componentes (Mataix, 2005):

- Gases (hidrógeno y metano)
- Ácidos grasos de cadena corta (acético, propiónico, butírico, etc.), que se pueden absorber y metabolizarse para dar energía y producir otros efectos deseables (Mataix, 2005).

Además de esto, esta fibra al ser atacada por la flora contribuye a desarrollar la masa bacteriana, que constituye la microbiota del colon (Mataix, 2005).

3.1.5. PECTINAS

En estos polisacáridos el azúcar predominante es el ácido galacturónico, insertándose en intervalos moléculas de ramnosa con cadenas laterales en las que predominan arabinosa y galactosa. Las unidades de ácidos galacturónicos están presentes parcialmente en forma libre, pudiendo combinarse con minerales como calcio o magnesio, o con ésteres de metilo. Las frutas son una buena fuente de pectinas (Gómez y cols., 2005).

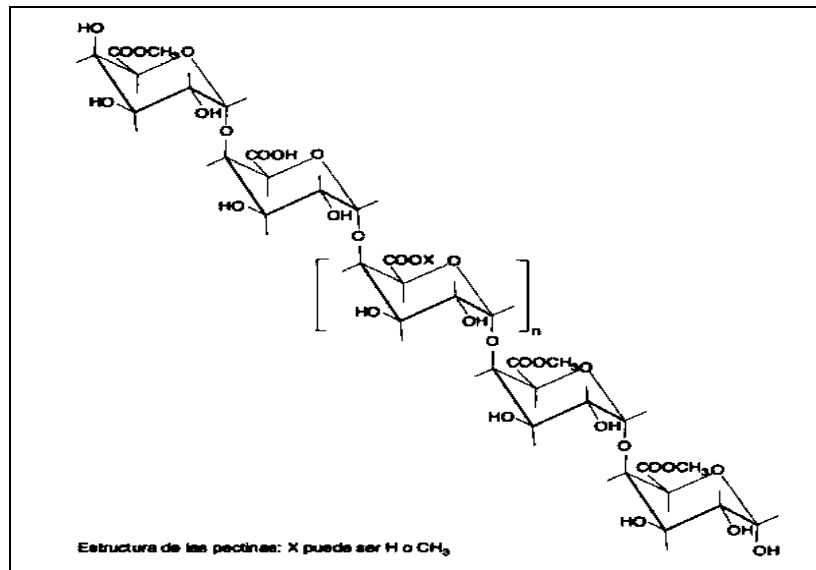


Imagen 14. Estructura de la pectina.

3.1.6. GOMAS

Este término engloba a un extenso grupo de polisacáridos de alto peso molecular, que incluye el almidón, las pectinas y la celulosa; éstos tienen la capacidad de actuar como espesantes y gelificantes y presentan además algunas propiedades funcionales por ejemplo de emulsificación, estabilización, crio protección, etc. Las gomas naturales provienen de exudados de plantas, de semillas, de algas marinas y de origen microbiano; sin embargo, también existen algunas que son semi sintéticas, derivadas de los almidones, de la celulosa y de la glucosa (Badui, 2013).

Todas forman parte de la fibra cruda, ya que el organismo humano está incapacitado para metabolizarlas por carecer del sistema enzimático, son heteropolisacáridos que pueden ser iónicos, neutros, lineales, ramificados, etc. y también se designan como hidrocoloides. Su característica más importante se basa en la capacidad que tienen para interactuar con el agua, de manera que en concentraciones bajas producen soluciones viscosas; si se incrementan, llegan incluso a establecer geles (Badui, 2013).

Las propiedades funcionales de las gomas dependen de factores intrínsecos de la molécula, por ejemplo, peso molecular, grados de ionización y de ramificación, etc. y de factores extrínsecos como pH, fuerza iónica, temperatura, concentración de los

otros componentes, la interacción entre ellos, presencia de otros hidrocoloides, etc. Cada goma tiene características físicas y químicas específicas, que no se pueden sustituir fácilmente con otro polisacárido; la combinación de dos o más de ellas, genera nuevas propiedades funcionales que no desarrollan en lo individual; es el caso de la emulsificación de sistemas aceite/agua, que se logra con mezclas de gomas (Badui, 2013).

Tabla 4. Principales gomas empleadas en alimentos

PRINCIPALES GOMAS EMPLEADAS EN ALIMENTOS	
Exudado de plantas: Arábiga Tragacanto Alerce	Microorganismos: Xantana Gelana Curdlán
Semillas: Algarrobo Guar	Semisintéticas: Derivados de almidón Derivados de celulosa Polidextrosa
Algas marinas: Agar Carragenina Alginato	

(Badui, 2013)

El uso de las gomas en la industria alimentaria es muy vasto: en helados, confitería, jugos de fruta, cerveza, vinos, mayonesa, quesos, mermeladas, aderezos, embutidos, productos dietéticos, etc., esto debido a sus propiedades funcionales.

La goma arábica y el tragacanto se caracterizan por estructuras ramificadas y un gran poder espesante. La goma guar es un polímero que contiene manosa y galactosa. Proviene típicamente de las legumbres y son agentes formadores de geles (Gómez y cols., 2005).

Tabla 5. Funciones y aplicación de las gomas en los alimentos

FUNCIONES Y APLICACIÓN DE LAS GOMAS EN LOS ALIMENTOS		
FUNCION	APLICACION	
Inhibidor de la cristalización	Helados	
Emulsificante	Aderezos, bebidas	
Encapsulante	Sabores, microencapsuladas	vitaminas
Formador de películas	Productos cárnicos y confitería	
Agente floculante o clarificante	Vino, cerveza	
Estabilizador de espumas	Cerveza, cremas	
Agente gelificante	Postres	
Estabilizador	Mayonesa, cerveza, bebidas	
Agente espesante	Salsas, mermeladas	
Texturizante y ligante	Postres	
Fijador	Cosméticos	

(Badui, 2013)

3.1.7. DERIVADOS DE ALGAS

Este grupo incorpora los alginatos, carrageninas y agar, sustancias utilizadas habitualmente como aditivos alimentarios. Los alginatos contienen de 200-1000 unidades de azúcar por molécula y las carrageninas y agar son polímeros de galactosa con grupos sulfato (Gómez y cols., 2005).

3.1.8. MUCÍLAGOS

Los mucilagos son polisacáridos fibrosos, altamente ramificado, con peso molecular que oscila alrededor de 13×10^6 g/mol. Contiene aproximadamente de 35-40% de arabinosa, 20-25% de galactosa y xilosa cada una, y de 7-8% de ramnosa y ácido galacturónico cada uno. Se considera importante para la industria alimentaria debido a sus propiedades de viscosidad. Tiene la capacidad de formar redes moleculares y retener fuertemente grandes cantidades de agua, así como modificar propiedades como viscosidad, elasticidad, textura, retención de agua, además de que es un buen gelificante, espesante y Emulsificante (Rodriguez, 2011).

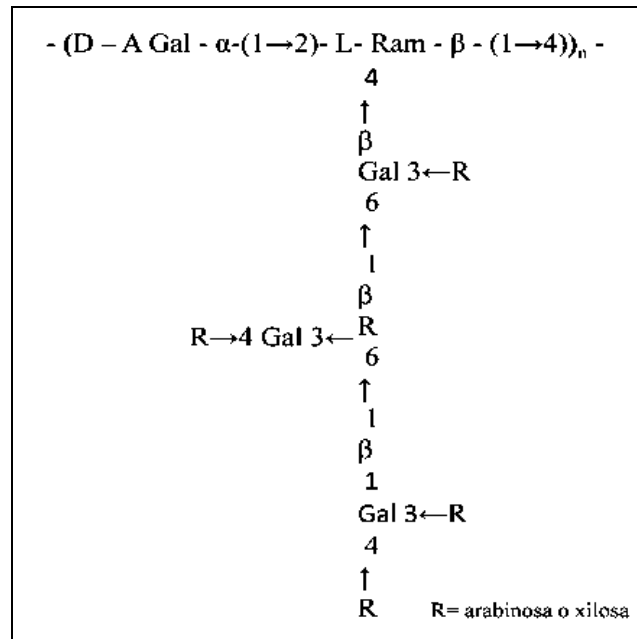


Imagen 15. Estructura de los mucílagos

Se encuentran especialmente en la cubierta externa de los granos de cereal. Un ejemplo es la Isphagula. Muestran alta capacidad para retener agua y se han demostrado útiles como laxantes (Gómez y cols., 2005).

3.1.9. FRUCTOSANOS

Estos cumplen la definición fisiológica/ nutricional de la fibra, ya que resisten la hidrólisis por las enzimas digestivas humanas y alcanzan el colon intacto. A este nivel son fermentados completamente por la flora bacteriana colónica no detectándose en las heces después de su consumo. Por ello se ha propuesto incluirlos dentro del concepto de carbohidratos complejos y clasificarlos como fibra dietética. Dentro de estos podemos encontrar a la inulina y oligofructosa (Fernández y Gassull, 1999).

Son polímeros lineales de moléculas de D-fructosa unidas por enlaces β (2,1), que sirven de reserva energética de vegetales como alcachofa, maguey, ajo y cebolla. En virtud de que a la fructosa también se le llama levulosa, su polisacárido se denomina levana. La inulina es la principal fructosana que se obtiene de la achicoria

y que se emplea como prebiótico, igual a sus derivados, los fructo-oligosacáridos. Su hidrólisis total produce, además de fructosa, de 5 a 6% de glucosas que se ubican en los extremos de la cadena. La inulinasa es la enzima que actúa sobre los correspondientes enlaces glucosídicos de este polímero; debido a que las furanosas que contiene (fructosa) hacen que la inulina sea muy lábil al hidrólisis, se puede usar como fuente de fructosa de alta pureza (Badui, 2013).

3.1.10. ALMIDÓN RESISTENTE

Este se define como la suma del almidón y de sus productos de degradación que no son absorbidos en el intestino delgado de los individuos sanos. Todos estos productos, almidón y derivados, son fermentados por bacterias colónicas, aunque existen diferencias interindividuales en la capacidad para fermentar los diferentes tipos. Se ha estimado que hasta el 20% del almidón de la dieta se escapa de la digestión en el intestino delgado, ya sea por factores intrínsecos o extrínsecos al propio almidón (Fernández y Gassull, 1999).

El almidón es, después de la celulosa, el polisacárido más abundante e importante desde el punto de vista comercial. Se encuentra en cereales, tubérculos y en algunas verduras como polisacárido de reserva energética. Su concentración varía según el estado de madurez del vegetal, como ocurre con el plátano: en estado verde o inmaduro, el almidón constituye la mayor fracción de los carbohidratos, ya que los azúcares son muy escasos; a medida que la fruta madura el polisacárido se hidroliza por acción de las amilasas endógenas y mediante otros sistemas enzimáticos se sintetizan la sacarosa y la fructosa que se encuentran cuando llega a la plena maduración (Badui, 2013).

El almidón es una mezcla de dos polisacáridos, la amilosa y la amilopectina; el primero es producto de la condensación de glucosas por enlaces glicosídicos α -(1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1,4)-glucana. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Badui, 2013).

Por su parte la amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones, aunque se han reportado pesos de entre 300000 y 500000 (Badui, 2013).

3.2. FUNCIÓN FISIOLÓGICA DE LA FIBRA

De acuerdo con su solubilidad en agua las fibras se dividen en solubles e insolubles. Las primeras comprenden las pectinas, hemicelulosa y gomas que por puentes de hidrógeno retienen 15-20 veces su peso en agua y forman un sol que produce la sensación de saciedad y también heces blandas; estimulan la secreción gástrica, aceleran el movimiento del intestino delgado y acortan el tiempo de tránsito intestinal, con lo que se reduce la posibilidad de la absorción de colesterol, glucosa y grasas. Las bacterias nativas del colon las fermentan y generan bióxido de carbono, hidrógeno, metano y ácidos grasos volátiles (Badui, 2013).

Por su parte las insolubles, celulosa y lignina, que se encuentran principalmente en las capas externas de cereales como trigo, arroz, maíz, centeno y cebada, también se hidratan, forman el bolo, incrementan el volumen fecal, dan la sensación de saciedad, disminuyen el tránsito intestinal y favorecen la evacuación, pero no son atacadas por la microflora colónica y así se eliminan en las heces (Badui, 2013).

Ambas limpian el sistema digestivo, evitan la absorción de glucosa y de colesterol y por ello previenen la diabetes y los problemas cardiovasculares al depurar el organismo y evitar el estreñimiento; también aumentan la masticación, que, a su vez, genera la saliva limpia los dientes y reduce caries. Algunas funcionan como prebiótico. Por otra parte, un consumo excesivo de fibra causa flatulencia y diarrea, pero además inhibe la absorción de vitaminas, minerales y medicamentos (Badui, 2013).

4. PECTINAS

La pectina fue descubierta en 1790 cuando Vauquelin encontró primeramente una sustancia soluble de los zumos de fruta. El científico francés Braconnot continuo el trabajo de Vauquelin y encontró que una sustancia ampliamente disponible de plantas vivas y ya observada en el pasado, tenía propiedades gelificantes cuando se le añadía ácido a su solución la llamó pectina ácida, del griego *pectos* que significa sólido coagulado (Alfonso, 2010).

La pectina fue definida por Kertesz, como los ácidos pectínicos solubles en agua de grado de metilación variada que son capaces de formar geles con azúcar y ácido bajo condiciones determinadas. Esta definición abarca la gelificación con calcio de los ácidos poligalacturónicos coloidales aislados de plantas conteniendo una cierta proporción de grupos metil éster. De ahí que también el término pectina se usa colectivamente para incluir ácido péctico, la forma de pectina completamente desesterificada (Alfonso, 2010).

Las pectinas son polisacáridos importantes en los alimentos por sus propiedades funcionales. Se usan mucho como agentes gelificantes, espesantes y estabilizantes. Son constituyentes de los tejidos vegetales y son moléculas complejas grandes cuya naturaleza exacta es incierta. Sin embargo, se sabe lo suficiente para entender algunas de sus propiedades y para hacer uso de sus propiedades funcionales para elaborar alimentos preparados con textura especial (Vaclavick, 2002).

La función biológica de la pectina en las plantas fija hasta un 30 % de los polisacáridos de muchas plantas. El ion calcio induce enlaces entrecruzados en la adhesión celular y textura del tejido, así como la extensibilidad de la pared celular. A pesar del alto grado de metilación de las pectinas en las partes crecientes de la planta (Alfonso, 2010).

Las formas de pectinas son generalmente reconocidas como seguras por las U.S. Food and Drug Administration. Las especificaciones legales para pectinas están enunciadas internacionalmente (Alfonso, 2010).

4.1. SUSTANCIAS PÉCTICAS

Las sustancias pécticas son mezclas complejas de polisacáridos que constituyen una tercera parte de la pared celular de las plantas dicotiledóneas y de algunas monodicotiledóneas, menor proporción de estas sustancias se encuentran en las paredes celulares de las plantas herbáceas (Alfonso, 2010).

Las sustancias pécticas se pueden agrupar en una de las tres categorías dependiendo del número de grupos metil éster unidos al polímero.

4.1.1. PROTOPECTINA

La protopectina se encuentra en la fruta inmadura. Es un polímero de ácido galacturónico no metilado. Es insoluble en agua, pero se puede convertir en pectina dispensable en agua por calentamiento en agua hirviendo. No pueden formar geles.

4.1.2. ÁCIDO PECTÍNICO

El ácido pectínico es una forma metilada de ácido galacturónico que se forma a partir de la protopectina cuando la fruta madura. Los ácidos pectínicos de elevado peso molecular se conocen como pectinas. Los ácidos pectínicos se dispersan en agua y pueden formar geles.

4.1.3. ÁCIDO PÉCTICO

El ácido péctico es un derivado de cadena corta del ácido pectínico que se forma a medida que las frutas maduran en exceso.

Enzimas, como la pectinestereasa y la poligalacturonasa, causan despolimerización y desmetilación del ácido pectínico. La desmetilación completa da lugar a ácido péctico, que es incapaz de formar geles (Vaclavick, 2002).

4.2. LOCALIZACIÓN Y ESTRUCTURA DE LAS PECTINAS

Las sustancias pécticas se encuentran en la mayor parte de los tejidos vegetales y muy especialmente en los tejidos parenquimáticos y meristemáticos. En ellos, las

zonas más ricas corresponden a la pared primaria de las células y a la lámina media que las separa (Alfonso, 2010).

Aunque su naturaleza exacta no está clara, se pueden considerar como polímeros lineales de ácido D-galacturónico unidos por uniones glicosídicas α -1,4. Algunos de los grupos ácidos o carboxilo (COOH) a lo largo de la cadena se esterifican con metanol (CH₃OH) (Vaclavick, 2002).

Las pectinas son polímeros ramificados, que incluyen dos tipos principales:

- Ramnogalacturanos, que son polímeros de ramnosa y ácido galacturónico, con cadenas laterales de galactosa y arabinosa fundamentalmente.
- Arabinogalactonas, constituidas por cadenas de galactosa con muchas cadenas cortas de arabinosa (Mataix y Gassull, 2009).

Hay monómeros de ramnosa insertados dentro de la cadena principal de residuos de ácido galacturónico. Unido al extremo reductor de los mismos por enlaces ($1\alpha - 2\beta$) y al extremo no reductor del siguiente residuo urónico por enlaces ($1\beta - 4\alpha$) (Alfonso, 2010).

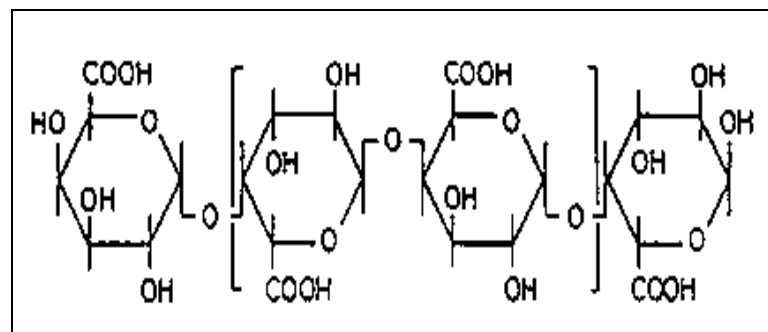


Imagen 16. Estructura lineal de la pectina.

La ramnosa introduce un plegamiento en la que sería una cadena estirada. Otros monómeros serían galactosa, arabinosa, xilosa, ácido glucurónico que formarían la estructura (Alfonso, 2010).

Algunos de estos restos carboxílicos de los ácidos urónicos se esterifican parcialmente con grupos metoxilo, metilándose. Los que están libres pueden ionizarse y quelar metales como calcio y magnesio (Mataix y Gassull, 2009).

4.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

4.3.1. GRADO DE ESTERIFICACIÓN

Un factor importante que caracteriza las cadenas de pectina es el grado de esterificación (DE) de los grupos carboxilos de los residuos de ácido urónico con alcohol metílico las pectinas probablemente se forman inicialmente en forma altamente esterificada, pero experimentan algo de desesterificación después de insertarse en la pared celular o lámina media. Hay una amplia gama de grados de esterificación dependiendo de especies, tejido y madurez. En general las pectinas del tejido tienen una gama de grados de esterificación que va del 60% al 90%. El grado de metilación tiene un papel muy importante en la firmeza y cohesión de los tejidos vegetales. La reducción del grado de metilación tiene como consecuencia un aumento de la cohesión que particularmente es evidente en tejidos calentados. El efecto de fortalecimiento de los tejidos implica dos fenómenos separados (Alfonso, 2010).

En tejidos frescos, la formación de carboxilos libres incrementa las posibilidades y la fortaleza de los enlaces calcio entre polímeros. En los tejidos calentados se da la combinación de un incremento de los enlaces de calcio y un decremento de la susceptibilidad de la pectina a despolimerizarse por la β – eliminación (Alfonso, 2010).

4.3.2. VISCOSIDAD DE LA PECTINA

La viscosidad de las soluciones de pectina de HM (high methoxyl o alto metoxilo) es muy dependiente del número de variables: grado de esterificación, longitud de la molécula, concentración de electrolitos, pH y temperatura. Las concentraciones diferentes de un azúcar y distintas azúcares afectan a la viscosidad de distinta

forma. La viscosidad se incrementa marcadamente a medida que la temperatura se acerca a la temperatura de ebullición (Alfonso, 2010).

El peso molecular de la pectina relacionado con la longitud de la cadena, es una característica muy importante de la que dependen la viscosidad de sus disoluciones y su comportamiento en la gelificación de las jaleas (Alfonso, 2010).

En dispersiones de pectina una propiedad muy útil de la viscosidad es la resistencia del gel (solute) a fluir en relación al agua conteniendo un electrolito. El objeto del electrolito es la de disminuir la ionización de los grupos carboxilos de la pectina. La pectina entonces pasa a ser un electrolito neutro en vez de comportarse como un electrolito con gran efecto electroviscoso (Alfonso, 2010).

4.3.3. GELIFICACIÓN DE LA PECTINA

Desde el punto de vista de la tecnología alimentaria la propiedad más importante de las pectinas es su aptitud para formar geles. Los geles consisten en moléculas poliméricas con enlaces entrecruzados en la red, interconectada y tupida, inmersa en un líquido en geles de pectina y otros sistemas de alimentos conteniendo pectina, este líquido es agua. Las propiedades del gel son el resultado neto de interacciones complejas entre el soluto y el solvente, la influencia del agua como solvente, la naturaleza y magnitud de las fuerzas intermoleculares que mantienen la integridad del gel que permiten tener una gran capacidad de retención de agua (Alfonso, 2010).

Set rápido y *set lento* son designaciones de la pectina referidas a la relación en que una estructura incipiente de jalea desarrolla una estructura a la temperatura de gelificación. Su ritmo de gelificación influencia la textura del producto. Las pectinas con HM son también de set rápido y lento (Alfonso, 2010).

El ritmo de gelificación disminuye cuando disminuye el grado de esterificación; los geles de pectina de HM son más rápidos en alcanzarse que los de LM (low methoxyl o bajo metoxilo). Los geles de pectina HM con alto grado de esterificación se alcanzan más rápidamente que las de pectinas HM con menor grado de esterificación bajo el mismo gradiente de enfriamiento (Alfonso, 2010).

Las jaleas patrón están normalmente elaboradas con pectina HM y de set lento, el ritmo lento de gelificación permite tiempo suficiente de 25 a 30 minutos para que las burbujas de aire atrapadas puedan escapar. Las pectinas de set rápido permiten jaleas de productos en la gama de pH entre 3.3 a 3.5, los sets lentos las permiten entre 2.8 a 3.2 una mezcla de HM y LM impartirán cierto grado de tixotropía a una jalea (Alfonso, 2010).

Las cualidades de la pectina que influyen en los caracteres del gel son (Alfonso, 2010):

- Longitud de la molécula
- El grado de metilación
- La proporción entre grupos hidrofóbicos e hidrofílicos

Los factores del medio más importante que influyen en la formación de los geles:

- Temperatura
- pH
- El azúcar y otros solutos similares

4.4. CLASIFICACIÓN Y SUS PROPIEDADES

Las pectinas son ácidos pectínicos de elevado peso molecular y se dispersan en agua. Algunos de los grupos carboxilo a lo largo de la cadena de ácido galacturónico están esterificados con metanol. El grado de esterificación en pectinas no modificadas varía desde aproximadamente 60% en pulpa de manzanas hasta aproximadamente 10% en fresas. (Las pectinas se pueden ser desesterificadas deliberadamente durante la extracción o el procesado). Según con el grado de esterificación, las pectinas se clasifican como pectinas de alto metoxilo o de bajo metoxilo. Los dos grupos tienen diferentes propiedades y gelifican bajo condiciones diferentes (Vaclavick, 2002).

4.4.1. PECTINAS DE BAJO METOXILO

Las pectinas de bajo metoxilo tienen la mayoría de los grupos carboxilo libres. En realidad, solo 20-40% de los grupos carboxilo están esterificados. Por lo tanto, la mayoría están disponibles para formar enlaces cruzados con iones divalentes como calcio (Vaclavick, 2002).

Si se forman suficientes enlaces cruzados, se puede obtener una red tridimensional que atrapa líquido, formando un gel. Las pectinas de bajo metoxilo pueden, por tanto, formar geles en presencia de iones divalentes sin necesitar azúcar o ácido (Vaclavick, 2002).

4.4.2. PECTINAS DE ALTO METOXILO

Las pectinas de alto metoxilo tienen una elevada porción (normalmente 50-58%) de grupos esterificados. La mayoría de los grupos ácidos, por tanto, no están disponibles para formar enlaces cruzados con iones divalentes, así estas pectinas no forman geles de esta manera. Sin embargo, se pueden hacer gelificar con adición de azúcar y ácido. Comúnmente, son las pectinas de alto metoxilo las que se usan para formar geles de pectina (Vaclavick, 2002).

4.5. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

El uso de la pectina en mermeladas de alto contenido de azúcar es una de las más conocidas aplicaciones a uno de los mercados más grandes para la pectina.

Las mermeladas a menudo están hechas a partir de concentrados de frutas despectinizadas y entonces requerirán gran cantidad de pectina añadida del tipo de fruta en cuestión. Las pectinas de alto metoxilo son usadas solamente en jaleas estándar por encima del 60% de sólidos solubles.

La selección de la pectina correcta es importante, pero el contenido en el fruto es también importante. A veces especialmente en bajo contenido de sólidos solubles es

necesario añadir sal de calcio para obtener el mejor resultado. Ocasionalmente se añaden gomas neutras para reducir la sinéresis.

Pueden prepararse gamas de glaseados para pastelería y flanes, mediante una formulación con pectina de bajo metoxilo amidada y secuestrante de calcio como difosfatos.

Un área creciente de la producción de frutas en los últimos años ha sido la producción de bases de frutos para la adición a yogurts y productos similares. Estas bases de frutos que contienen entre el 20% y 60% de azúcar han sido elaboradas con almidones modificados como espesantes. A pesar de lo económico de su precio, presentan problemas como enmascaramiento del aroma y textura irregular y han sido sustituidos ventajosamente por pectina de bajo metoxilo amidada.

La pectina tiene otros usos en la industria láctea. La pectina de alto metoxilo preserva a los productos lácteos de la adición de caseína cuando se calienta a valores de pH inferiores a 4.3. Este efecto se usa para estabilizar la yogurts líquidos y tratados con UHT y también para mezclas de leche y zumos de fruta, también estabiliza bebidas lácteas acidificadas con soya y productos basados en el trigo, donde evita la precipitación de proteínas. El yogurt puede espesarse mediante la adición de niveles muy bajos de pectinas de bajo metoxilo amidada.

La gelatina ha sido la base tradicional para los postres de jaleas, se formulan con pectinas amidadas de bajo metoxilo que proporciona la textura y el producto de congelación adecuadas (Alfonso, 2010).

II. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo tiene como propósito la utilización de uno de los residuos de la tuna, como lo es la cascara, para su aprovechamiento e integración a la industria alimentaria.

La extracción de pectina es una alternativa para la utilización de la cáscara de tuna que es desechada por las industrias que utilizan la tuna como materia prima y teniendo en cuenta que nuestro país es considerado como el mayor productor de tunas. Y al obtener pectinas de buena calidad, que es una materia prima ampliamente utilizada en la industria alimentaria, podría significar un beneficio económico en cuanto a las empresas que las utilizan, como a las que las extraerían.

Además, se reconoce que las pectinas extraídas por hidrólisis ácida del nopal son de buena calidad y ya han sido previamente empleadas para la elaboración de productos alimenticios en este Laboratorio, de ahí radica la importancia para su comparación.

III. HIPÓTESIS

La pectina extraída de la cáscara de tuna mediante hidrólisis ácida será favorable para su utilización como agente aditivo en la industria alimentaria dado sus propiedades y características químicas similares a las pectinas de nopal y cítricas de uso comercial.

IV. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Extraer y caracterizar la pectina extraída de nopal y de cáscara de tuna, para su posible empleo como agente aditivo en la industria alimentaria.

2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Análisis de las características alométricas y fisicoquímicas de la tuna.
- Extraer la pectina de las dos fuentes, nopal y cáscara de tuna, mediante hidrólisis ácida
- Determinar el porcentaje de rendimiento de acuerdo al método de extracción utilizado.
- Evaluar las características químicas, por el método de Shultz, de ambas pectinas para el conocimiento de sus propiedades y así poder destinarlas como materias primas para la elaboración de algún producto alimenticio.
- Comparar fisicoquímicamente las pectinas obtenidas contra una de marca comercial.
- Promover la utilización de los desechos de tunas, en este caso de la cáscara.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

1. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS

1.1. MATERIALES

Capsula de porcelana

Crisol de porcelana

Pinzas de nuez, de caimán, para crisol y capsula

Vaso Berzelius 600 ml

Probetas graduadas de 100, 200 y 500 ml

Matraz Erlenmeyer de 250, 500 y 1000 ml

Pipetas volumétricas de 5, 10 y 50 ml

Pipetas de 1, 2 y 10 ml

Bureta de 25 ml

Tela de lino

Papel filtro de poro común

Cartucho de extracción de celulosa Whatman de 25 mm x 80 mm

Algodón desgrasado

Papel tornasol Blue Litmus Paper y Congo Red Test Paper

Tiras para pH Universal Indicator marca Merck

Soporte universal

Vernier Caliper 150 mm x 0.02 mm

1.2. EQUIPO UTILIZADO

Estufa de secado digital FELISA Modelo Fe-291D

Balanza Analítica Digital. Marca Precisa. Capacidad 220g Modelo XT220A

Balanza Granataria Marca Ohaus. Capacidad 2, 610g. Modelo Triple Beam Balance TJ2611

Mufla marca Felisa Modelo: FE-363

Desecador Marca Nalgene. Modelo:150MM

Deshidratador solar

Equipo Soxhlet marca Kimax

Baño de agua

Digestor de fibra marca Labconco

Centrífuga Marca International Equipment Company a Division of Damon Refrigerated. Modelo PR-J

Digestor de proteína Kjeldhal

Parrilla eléctrica marca Felisa

2. MÉTODOS

En esta investigación se empleó como materia prima pencas de nopal, compradas en el mercado de San Juan, en Morelia Michoacán; y tunas provenientes de Santiago Tolman, Estado de México, en la región de Pirámides de Teotihuacán.



Imagen 17. Materias primas utilizadas.

El desarrollo experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Las pencas de nopal y las tunas se seleccionaron de acuerdo a madurez comercial (firme al tacto), libres de enfermedades y no golpeadas.

2.1. ANÁLISIS ALOMÉTRICA Y FISICOQUÍMICAS DE LA TUNA

Los estudios relacionados con el peso y las dimensiones de las tunas se efectuaron tomando 20 unidades al azar del lote.

La altura entre los polos y el diámetro mayor de las tunas se midieron utilizando un vernier de acero inoxidable.



Imagen 18. Mediciones realizadas a la tuna.

Posteriormente se pelaron para la separación de la cáscara efectuándose tres cortes, dos de ellos para la eliminación de los polos, cuidando no incluir pulpa, y un tercero de “polo a polo” introduciendo una parte del cuchillo que solo corte la cáscara en su grosor sin dañar el bulbo interior de la fruta, procediendo a retirarla completamente. Para así calcular por peso de los rendimientos respecto al fruto entero de las diferentes partes: cáscara, pulpa y semillas.



Imagen 19. Cortes realizados para desprender la cáscara.

Una vez retirada la cascara se procesó inmediatamente para realizar el análisis proximal y para la extracción de pectina



Imagen 20. Procesamiento de la cáscara de tuna.

2.2. ANÁLISIS PROXIMAL

El análisis proximal de la cáscara de tuna se realizó de acuerdo a la metodología del Manual de la AOAC.

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD. Se determinó por el método 934.01 de la AOAC (1997), Norma técnica de referencia NMX-F-083-S-1986.

DETERMINACIÓN DE CENIZAS. Se determinó por el método 962.09 de la AOAC (1997), Norma técnica de referencia NMX-F-607-NORMEX-2002.

DETERMINACIÓN DE LÍPIDOS. Se determinó por el método 920.85 de la AOAC (1997), Norma técnica de referencia NMX-F-615-NORMEX-2004.

DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO PROTEICO. Determinación de proteína cruda por el método de Kjeldhal. Se determinó por el método 920.87 de la AOAC (1997), Norma técnica de referencia NMX-F-608-NORMEX-2002.

DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA. Se determinó por el método 985.29 de la AOAC (1997), Norma técnica de referencia NMX-F-613-NORMEX-2003.

2.3. PERFIL DE LÍPIDOS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES

Se determinó al aceite extraído de las semillas de tuna en un Cromatógrafo de gases (Agilent Gas Chromatograph) con código de catálogo 7890B.

2.4. EXTRACCIÓN DE PECTINA

Para la extracción de pectina, de nopal y cáscara de tuna, se utilizó la metodología propuesta por Arizmendi, 2004. Se utilizó para ello una solución de HCl 0.2 N hasta un pH de 2-3, sometiéndose a un calentamiento no mayor a 80°C, se centrifugo y se redujo el volumen precipitándose con etanol 1:4, se filtró y se desecó determinándose el porcentaje de rendimiento.

2.5. ANÁLISIS DE ESPECTRO INFRARROJO

Se llevó a cabo la identificación estructural mediante espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), de las pectinas obtenidas de nopal y cáscara de tuna, a través de un equipo Bruker Modelo Tensor 27, en un intervalo en la región de infrarrojo (4000-400 cm⁻¹) en el Laboratorio de Metalurgia de la U.M.S.N.H.

2.6. CARACTERIZACIÓN DE LA PECTINA

Se realizó por el método de Schultz (1965). Realizando los cálculos pertinentes para dichas determinaciones utilizando las siguientes formulas:

2.6.1. % DE ÁCIDO ANHIDRO GALACTURÓNICO

$$\%AAG = \frac{(176)(100)(\text{meq A} + \text{meq B})}{\text{mg pectina}}$$

2.6.2. % DE METOXILOS

$$\% \text{ metoxilos} = \frac{(\text{mL A})(\text{Normalidad})(3.1)}{\text{g pectina}}$$

2.6.3. GRADO DE ESTERIFICACIÓN

$$GE = \left(\frac{B}{A+B} \right) (100)$$

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. ALOMÉTRICA Y FISICOQUÍMICA DE LA TUNA

Con la finalidad de caracterizar el fruto del nopal, se realizó un análisis de su morfología (tamaño, peso y cantidad de semillas), estos resultados se pueden observar en la Tabla 10.1 mostrándose los resultados de las características físicas evaluadas a la tuna. Comparativamente con las obtenidas por Vázquez, 2011 y Cerezal y Duarte, 2005 se logró distinguir que, si hay una gran diferencia en los parámetros obtenidos, señal de la gran diversidad de tamaños de las tunas, así como de las distintas especies que se han encontrado.

Tabla 6. Parámetros alométricos de la tuna

Parámetro	Valor experimental	Valor de comparativo
Peso del fruto (g)	126.01 ± 20.21	87.17 ± 29.27 ^[1]
Longitud del fruto (cm)	8.16 ± 1.02	6.79 ± 2.01 ^[1] 6.2 - 7.8 ^[2]
Diámetro ecuatorial (cm)	5.37 ± 0.38	5.08 ± 12.39 ^[1] 4.6 - 5.2 ^[2]
Peso de la cáscara (g)	49.63 ± 9.10	-
Peso de las semillas (g)	8.60 ± 1.92	18.5 ^[2]
Peso de la pulpa (g)	67.78 ± 11.25	84.5 ^[2]

[1] Vázquez, 2011. [2] Cerezal y Duarte, 2005

En la tabla 10.1 podemos observar que, en cuanto a los valores comparativos en cuanto al peso del fruto, semillas existe una diferencia considerable, en cuanto a los demás parámetros hay mucha similitud.

2. ANÁLISIS PROXIMAL

2.1. CÁSCARA DE TUNA

En la Tabla 10.2 podemos observar los resultados obtenidos comparados con los resultados proporcionados por Lozada, 2007. Se puede observar que hay diferencias mínimas significativas, uno de los parámetros con mayor variación es el contenido de proteína en el valor experimental comparado con el valor comparativo.

La diferencia que existe entre el nitrógeno proteico y la proteína, está relacionada por el método de extracción, ya que para cuantificar la cantidad de proteína se realiza una extracción del nitrógeno en forma de amoníaco que posteriormente es convertido a proteína multiplicando por el factor de 6.25 el cual proviene de la consideración de que la mayoría de proteínas tienen una cantidad aproximada de 16% de nitrógeno.

$$factor = \frac{100g \text{ proteína}}{16g \text{ nitrógeno}} = 6.25$$

Tabla 7. Análisis proximal de la cáscara de tuna

Determinación	Contenido Experimental	Bibliográfico Lozada, 2007
Humedad	86.63	82-87
Cenizas	1.21	0.40-1.91
Nitrógeno proteico	0.12	-
Proteína	0.74	0.35-0.51
Fibra	0.56	1.27
Extracto etéreo	0.16	0.39
Extracto libre de nitrógeno	10.58	-

2.2. SEMILLA DE TUNA

En la tabla 10.3 podemos observar los resultados obtenidos del análisis proximal de la semilla de tuna comparados con los resultados proporcionados por Lozada, 2007. Se puede observar que en los resultados obtenidos hay un porcentaje importante en cuanto a la grasa total, dato importante que serviría para algún trabajo posterior en la extracción de aceites de la semilla de tuna. Sin embargo, en el contenido de fibra nos dio un resultado muy pobre en comparación con lo reportado por Lozada, 2007.

Tabla 8. Análisis proximal de la semilla de tuna

Determinación	Contenido % experimental	Contenido % comparativo (Lozada, 2007)	Contenido % comparativo (Cerezal Duarte, 2005).	Contenido % comparativo (Masson, 2012)
Humedad	5.49	-	1.07	0.7 ± 0.1
Cenizas	2.73	1.8	3.55	1.5 ± 0.1
Proteína	5.79	10.3	0.97	5.8 ± 0.6
Fibra cruda	2.58	46.4	-	80.6 ± 0.6
Fibra dietética total	1.63	-	-	-
Extracto etéreo	7.29	5.2-11.5	17.22	5.4 ± 0.3
Extracto libre de nitrógeno	78.6	-	74.68	-

3. PERFIL LÍPIDOS POR CROMATOGRFÍA DE GASES

El perfil de lípidos es de gran importancia ya que nos da de manera detallada la composición de un aceite, para así conocer los ácidos grasos mayoritarios y por este mismo poder destinar dicho aceite para un uso y saber en qué proporción emplearlo ya que puede contener ácidos grasos que pueden afectar la salud. En la Tabla 10.4 se puede observar el perfil de ácidos grasos del aceite extraído de la semilla de la tuna, incluyendo la comparación con el perfil de ácidos grasos obtenido por Masson, 2012, encontrando mayor contenido de ácido linoléico en ambas, así como una composición similar en cuanto a los ácidos grasos más importantes encontrados.

Tabla 9. Perfil de ácidos grasos obtenidos del aceite de la semilla de tuna

Ácido Graso	No. de carbonos	Tiempo de retención	% de área	Comparativa % de área (Masson, 2012)
AGS				
Mirístico	14:0	17.824	0.08375	0.1 ± 0.02
Palmítico	16:0	21.615	12.77504	12.43 ± 0.5
Esteárico	18:0	25.128	4.38469	3.28 ± 0.05
AGMI				
Palmitoléico	16:1	22.935	0.39576	0.80 ± 0.17
Oleico	16:1n9	-	-	14.53 ± 0.72
Oléico cis	18:1	26.166	14.47915	-
Oléico cis ISO	18:1	26.278	3.96131	-
AGPI				
Linoléico	18:2	27.688	62.10038	61 ± 0.77

Linolénico	18:3n3	-	-	0.58 ± 0.28
Alfa-Linolénico	18:3	29.200	0.59840	-

4. EXTRACCIÓN DE PECTINAS

La extracción de pectinas se realizó por hidrólisis ácida obtuvimos los rendimientos mostrados en la tabla 10.5, obteniendo de nopal un rendimiento de 0.54% y de cáscara de tuna rendimientos entre 0.52 a 0.92%, observando diferencias significativas entre el pH de hidrólisis ya que cuando el pH fue alrededor de 2.5 en las 2 materias primas se obtuvo rendimientos similares, pero en los ensayos preliminares de extracción con la cáscara de tuna se realizaron a pH 2.9 el rendimiento se elevó pero las pectinas fueron de un color más oscuro, concluyendo que pudo ser producto de una reacción de oscurecimiento durante el secado. La imagen 21 muestra las pectinas obtenidas de cáscara de tuna, mostrando del lado izquierdo los ensayos preliminares y del lado derecho la pectina obtenida y utilizada para la caracterización. La imagen 22 muestra la pectina extraída del nopal.



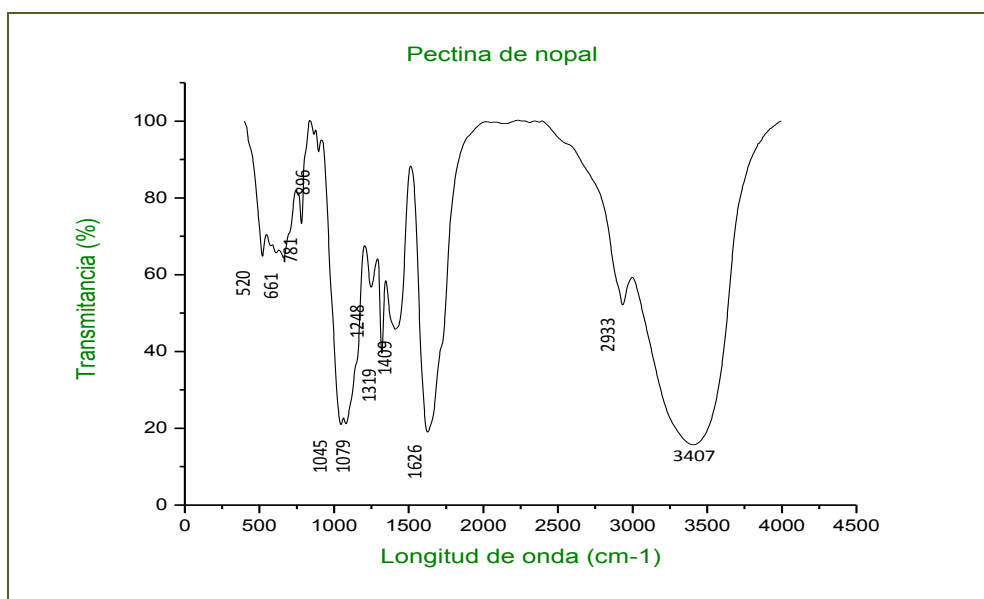
Imagen 21. Pectina de cáscara de tuna



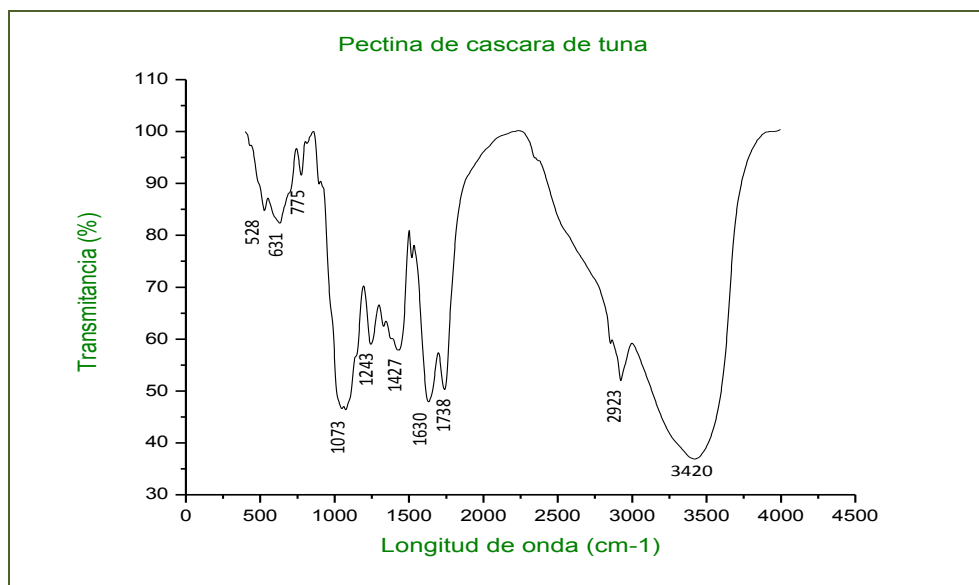
Imagen 22. Pectina de nopal

5. ANÁLISIS DE ESPECTRO INFRARROJO

La importancia de este análisis permite conocer, mediante los diferentes picos del espectro, las regiones características de cada uno de los grupos de la pectina y así poder identificarla. En los resultados obtenidos de la pectina de la cáscara de tuna se obtuvo un espectro similar característico al de la pectina de nopal. Ambos espectros se compararon con un espectro base de pectina comercial. En dichos espectros se observa que a longitud de onda de 3421 nm corresponde al grupo -OH ; a 2922 nm corresponde a una tensión de CH ; a 1075 nm se ve la presencia de grupo COOH ; a 1739 nm se observa el grupo éster de la pectina. De tal manera que se pueden identificar las vibraciones características de los grupos funcionales correspondientes a la estructura molecular de la pectina de alto metoxilo. Comparativamente en el espectro de cascara de tuna se pueden observar los picos en las regiones características de una pectina de alto metoxilo, en relacion a la transmitancia se encuentran similares ambos espectros infrarrojos.



Gráfica 1. Espectro infrarrojo pectina de nopal



Gráfica 2. Espectro infrarrojo pectina cáscara de tuna

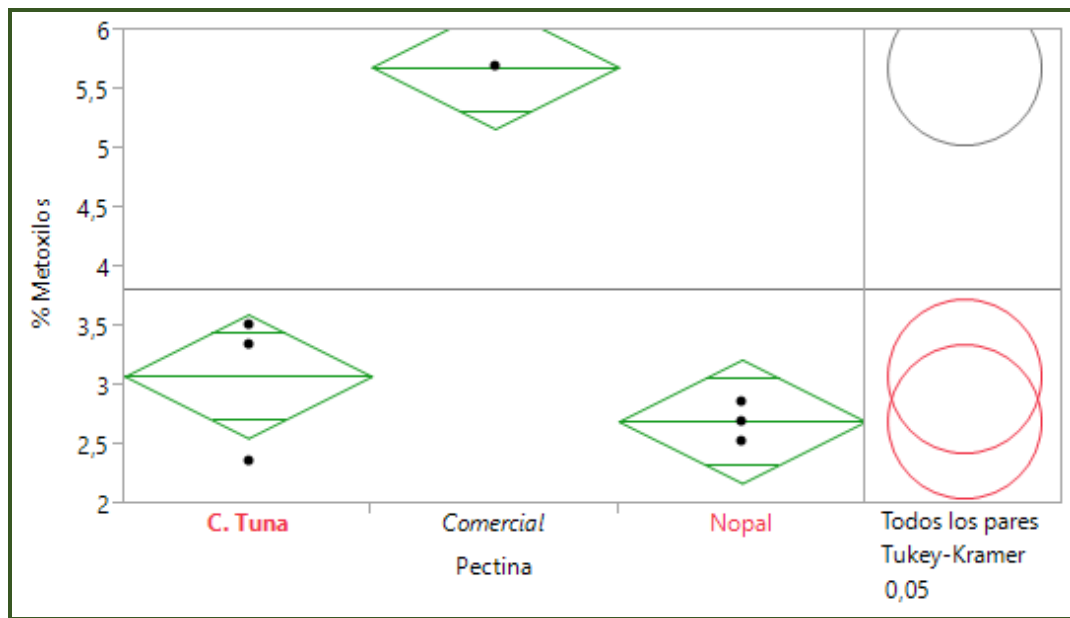
6. CARACTERIZACIÓN DE LA PECTINA

La caracterización de pectina es muy importante ya que es útil para conocer el tipo de pectina a la que pertenece, para así ver su comportamiento y por tanto poder definir su empleo. En la Tabla 10.5 se muestran los resultados de las características fisicoquímicas evaluadas a las pectinas de nopal y cáscara de tuna, obtenidas por hidrólisis ácida, así como comparación con pectinas de alto metoxilo comercial. Las pectinas poseen como estructura básica, cadenas de unidades de ácido galacturónico, este determina las propiedades funcionales de las pectinas, por esta razón la importancia de su determinación.

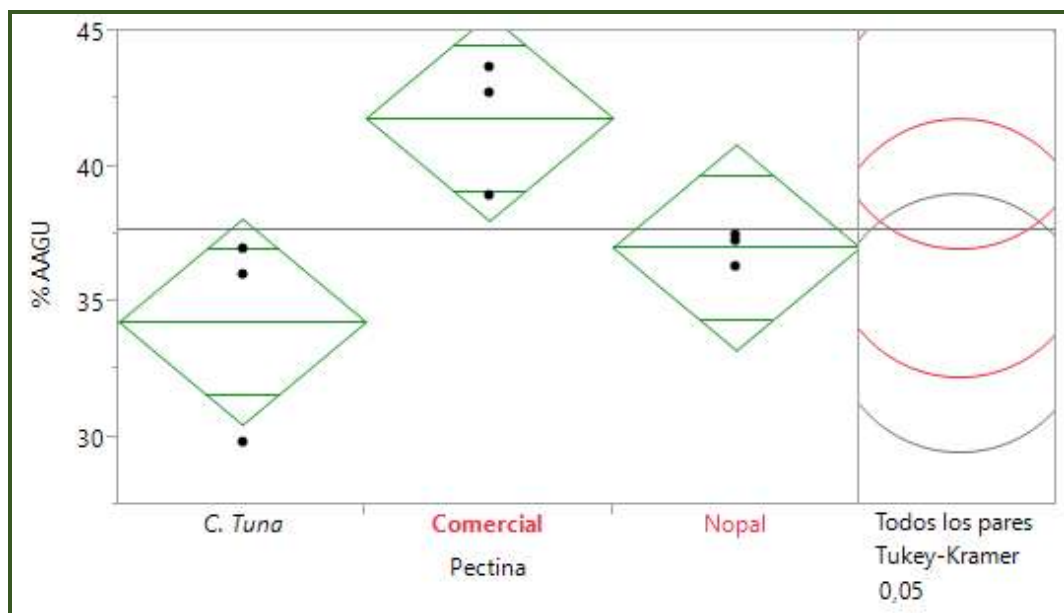
Tabla 10. Análisis fisicoquímico de la pectina de nopal y cáscara de tuna

	Pectina Nopal	Pectina Tuna	Cáscara	Pectina pura Meyer®	cítrica marca
Rendimiento (%)	0.54	0.52 a 0.92		-	
% Metoxilo	2.70b	3.08b		5.69a	
Ac. Anhidro	37.02ab	34.27b		41.81a	
Galacturónico					
Grado de esterificación (%)	41.37b	50.65b		77.46a	

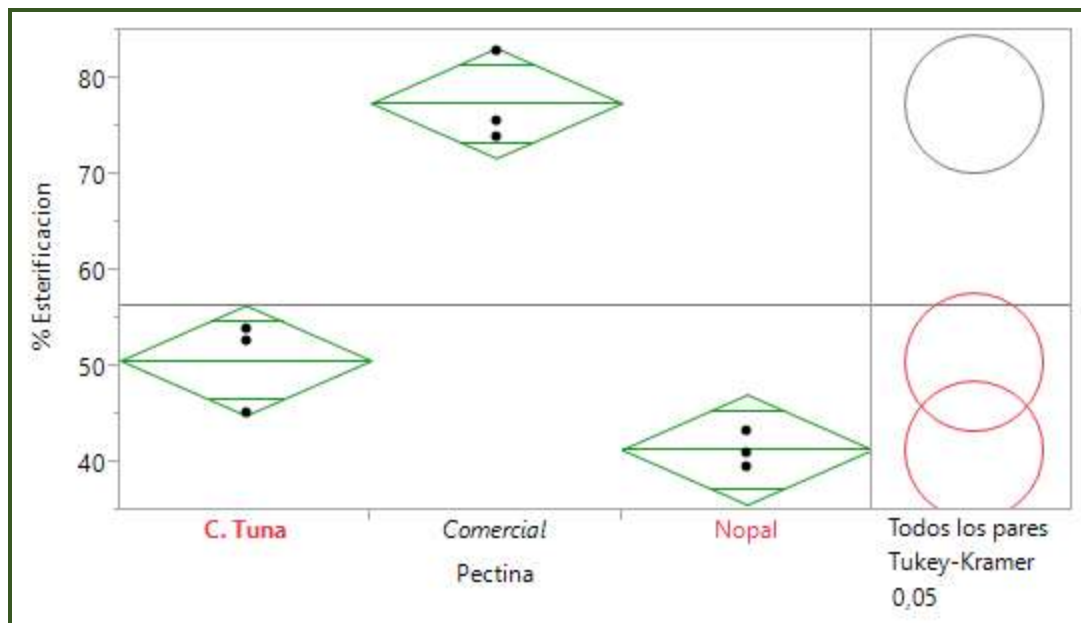
En cuanto a la graficas del cálculo de las diferencias estadísticas que existen entre cada parámetro podemos observar que hay relación entre la pectina de nopal y cáscara de tuna, mientras la comercial solo se relaciona con las dos anteriores en cuanto al porcentaje de ácido anhídrido galacturónico, siendo la pectina de cascara de tuna la intersección entre las 3 pectinas.



Gráfica 3.Diferencia significativa % de metoxilos de las pectinas



Gráfica 4. Diferencia significativa % de ácido anhídrido galacturónico de las pectinas



Gráfica 5. Diferencia significativa grado de esterificación de las pectinas

Pudiendo concluir que, si hay similitud con la pectina comercial en cuanto al %AAGU, que es una característica importante para en las pectinas, aunque debido a la deficiente % en esterificación, no puedan lograr las mismas propiedades que las pectinas comerciales.

VII. CONCLUSIONES

La presente investigación arroja que se puede lograr obtener pectinas de alto metoxilo de la cáscara de tuna y de mejor calidad que las obtenidas del nopal, aunque existen variaciones importantes en cuanto al pH, tiempo y temperatura de hidrólisis en la extracción, se debería estandarizar el método apropiado para obtener tanto mejores rendimientos como mejor calidad de pectinas de alto metoxilo de ambos, ya que obteniendo pectinas de alto metoxilo pueden ser empleadas en gran variedad de productos de la industria alimenticia previamente descritos, entre los que destacan aditivo en mermeladas.

Por otro lado, la semilla de la tuna presenta muy buen rendimiento en cuanto a la extracción de aceites, esto puede ser muy útil para la elaboración algún producto alimenticio, por ejemplo, algún pan, galletas, etc., pero teniendo en cuenta la cantidad empleada debido a su alta cantidad de ácidos grasos saturados que contiene.

VIII. EXPECTATIVAS DE CONTINUACIÓN

- Estandarizar el método de extracción de acuerdo a la materia utilizada.
- Obtener mayores rendimientos de extracción de las pectinas.
- Obtener mayor metoxilación en las pectinas.
- Emplear pectinas en algún producto alimenticio.

IX. BIBLIOGRAFIA

Alfonso, E. 2010. Estudio del comportamiento reológico de las pectinas con diferente grado galacturónico obtenida a partir de Citrus paradisi (Gray fruit). San Salvador, El Salvador.

Andrade, M. y Paisano, F. 2008. Diseño de una máquina prototipo peladora de tunas a nivel planta piloto y construcción de un prototipo del mecanismo de pelado de la misma. Cholula, Puebla, México. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/andrade_n_mg/

Aquino, E., Chavarría, Y., Chávez, J., Guzmán, R., Silva, E., y Verdalet, I. 2012. Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (Opuntia spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes No.55* , 3-10.

Arias, E. 2013. Preámbulo: Importancia de la Tuna. Actas de la segunda reunión para el aprovechamiento integral de la tuna y otras cactáceas y I reunión Sudamericana CACTUSNET FAO-ICARDA , págs. 9-12.

Badui, S. 2013. *Química de los alimentos 5ta. Edición*. México, Editorial Pearson. Págs. 64-91.

Cerezal, P., y Duarte, G. 2005. Algunas características de tunas (Opuntia ficus-índica (L.) Miller) cosechadas en el altiplano andino de la 2da Región de Chile. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 7, págs. 34-60.

Fernández, F., y Gassull, M. 1999. Fibra dietética. En M. Hernández Rodríguez, & A. Sastre Gallego, *Tratados de Nutrición*. Madrid, España: Diaz de Santos. págs. 126-127

Fleta, J., y Bueno-Lozano, M. 2007. Fibra y dieta. En M. Bueno, A. Sarría, & J. Pérez González, *Nutrición en pediatría 3a. Edición*. Madrid, España: Ergon. pág. 122

Gómez, C., y cols. 2005. Hidratos de carbono. En C. Vázquez Martínez, A. I. De Cos Blanco, & C. López Nomdedeu, *Alimentación y nutrición manual teórico-práctico 2a Edición*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos. págs. 4-6

Kiesling, R. 2013. Historia and prehistoria de la tuna o catus, *Opuntia ficus-indica*: Presente y futuro. Actas de la segunda reunión para el aprovechamiento integral de la tuna y otras cactáceas y I reunión Sudamericana CACTUSNET FAO-ICARDA , págs. 13-18.

Lozada, M 2007. *Extracción y caracterización reológica de polisacáridos tipo pectina de la cáscara de tuna (Opuntia spp.)*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Tulancingo de Bravo, Hidalgo.

Lozano, L. 2013. Nopalitos: Alimento alternativo para el norte de Argentina. Actas de la segunda reunión para el aprovechamiento integral de la tuna y otras cactáceas y I reunión Sudamericana CACTUSNET FAO-ICARDA , págs. 107-116.

Masson, L. 2012. *Semillas de frutos nativos y cultivados en Chile: Su aceite como fuente compuestos nacionales*. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Farmacia, Departamento de Nutrición y Bromatología II (Bromatología). Págs. 68-84.

Mataix, J. 2005. Hidratos de carbono. En J. Mataix Verdú, *Nutrición para educadores 2a Edición*. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos. págs. 47-50

Mataix, J., y Gassull, M. 2009. Fibra alimentaria. En J. Mataix Verdú, *Nutrición y alimentación humana I. Nutrientes y alimentos 2a. Edición*. Madrid, España: Ergón. págs. 119-121

Nazareno, M. 2013. Cactus como fuente de sustancias promotoras de la salud. Actas de la segunda reunión para el aprovechamiento integral de la tuna y otras cactáceas y I reunión Sudamericana CACTUSNET FAO-ICARDA , págs. 95-105.

Rodríguez, S. 2011. *OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE NOPAL (Opuntia ficus-indica)*. XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, Querétaro, Querétaro.

Robles, A., y E., J. 2009. El cultivo de tuna *Opuntia ficus indica*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo, Perú. Págs 18. Area Temática: Revaloración de cultivos nativos a la economía de pequeños y medianos agricultores.

Vaclavick, V. 2002. *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia, S.A. págs. 63-70

Vásquez, L. 2011. Caracterización, rescate y conservación de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en las provincias de Carchi, Imbabura y Pichincha. Ibarra, Ecuador.