



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

FACULTAD DE QUÍMICA.

**“Aprovechamiento del subproducto
generado en el desespinado del nopal
verdura para la formación de fibra
dietética”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICA DE ALIMENTOS.

PRESENTA:

CLAUDIA BERENICE AYALA GUEVARA.



MÉXICO, D.F.

2007.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado:

Presidente *MARCO ANTONIO LEON FELIX*
Vocal *ARTURO NAVARRO OCAÑA*
Secretario *BERTHA JULIETA SANDOVAL GUILLEN*
1er sup. *ROSA MARIA ARGOTE ESPINOSA*
2do sup. *MARIA DE LOURDES OSNAYA SUAREZ*

Sitio donde se desarrolló el tema:

Departamento de Alimentos y Biotecnología, Laboratorio 321 Conjunto E,
Facultad de Química.

ASESOR DEL TEMA

ASESOR TECNICO

Dr. Arturo Navarro Ocaña.

*M.C. Hilda E. Calderón
Villagómez*

SUSTENTANTE

Claudia Berenice Ayala Guevara

- ♣ *Antes que nada quisiera agradecerle a Dios por darme la fuerza, paciencia e inteligencia para poder culminar este proyecto de mi vida.*

- ♣ *A mi universidad, la **Universidad Nacional Autónoma de México** por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de tener una excelente formación profesional, así como las vivencias fuera de sus aulas.*

- ♣ *Al Dr. Arturo Navarro Ocaña: Mil gracias Doctor por haberme dado la oportunidad de trabajar con usted, por su apoyo y confianza que me brindo para elaborar este proyecto.*

- ♣ *Q.F.B. Julieta Sandoval Guillen: Por ser una magnífica persona, que me brindo su asesoría, ayuda, paciencia y amistad “Mil gracias July por ayudarme en el desarrollo de este trabajo”*

- ♣ *A mis profesores de la Facultad: Por aportarme sus conocimientos, mismos que me ayudaron a crecer como persona.*

- ♣ *Q.F.B. Agustín Reyo Herrera: Gracias por esas palabras de aliento que me diste, por escucharme, aconsejarme pero sobre todo por tu valiosa amistad.*

- ♣ *A los profesores Hilda Calderón Villagómez y Marco Antonio León Feliz por su interés en la revisión y corrección de este trabajo.*

- ♣ *A las personas más importantes en mi vida, mis padres, Tere y Hector: No tengo palabras para agradecerles todo su amor, comprensión, apoyo y confianza, por que sin ustedes no hubiera podido llegar a esta etapa de mi vida. Mami mil gracias por inyectarme esa fuerza para salir adelante, pero sobre todo por ser mi gran amiga incondicional. Esto es para ustedes. Gracias por formar a la mujer que soy. LOS AMO.*

- ♣ *A mis hermanos Ismael y Hector: aunque no lo crean los quiero mucho y soy muy afortunada al tener unos hermanos como ustedes, gracias por soportarme, cuidarme pero sobre todo por quererme.*

- ♣ *A mis amigas: Aurea, Sarah, Paola, Yuri, Kika, que durante todo este tiempo han estado conmigo y que le han dado un toque especial a mi vida compartiendo momentos inolvidables y todos los que nos faltan, las quiero. Como olvidarme de ustedes a los que conocí durante el transcurso de la carrera: Nancy, Martha, Roció, Marianita, Cristina, Anita, Sandra, Silvia, Melissa, Evelin, Israel, Mario, Víctor, Jonathan, Marco, Francisco y a todos aquellos que por alguna razón no recuerdo pero saben que se les estima, gracias por hacer el camino mas liviano.*

- ♣ *A mis compañeros del laboratorio 321: Alicia Camacho, Alicia Rivera, Elizabeth, Ricardo, Claudia, Minerva, Teresa, Esther, gracias por esas tardes tan divertidas que pasábamos.*

- ♣ *A ti, por todos los momentos que pase a tu lado, por tu apoyo y cariño.*

INDICE

Resumen	7
Introducción	9
Objetivos	11
CAPITULO I. Antecedentes	
1.1. Alimentos Funcionales	13
1.2. Importancia de Fibra Dietética	16
1.2.1. Definición de Fibra Dietética	16
1.2.2. División de la Fibra Dietética	17
1.2.3. Clasificación de la Fibra Dietética	20
1.2.4. Efectos fisiológicos benéficos de la Fibra Dietética	21
1.2.5. Propiedades Funcionales de la Fibra Dietética	24
1.2.6. Aplicaciones de la Fibra Dietética	26
1.2.7. Determinación del contenido de Fibra Dietética	28
1.2.8. Obtención de polvos	30
1.2.9. Usos potenciales de Fibra Dietética	32
1.2.10. Fuentes naturales de Fibra Dietética	33
1.2.11. Obtención de Fibra Dietética a partir de residuos agroindustriales	34
1.3 Nopal	
1.3.1. Descripción de la planta	37
1.3.2. Morfología de la planta	38
1.3.3. Composición química	42
1.3.4. Producción	47

1.3.5. Oferta y Demanda	49
1.3.6. Comercialización	50
1.3.7. Usos y Propiedades	50
1.4 Fuentes de Fibra Dietética Soluble	
1.4.1. Inulina	51
1.4.2. β -glucanos	52
CAPITULO II. Metodología	
Diagrama general de la Investigación	55
2.1. Primera parte: Obtención de Muestras	57
2.2. Segunda parte: Elaboración de formulaciones	60
2.3. Tercera parte: Evaluación de propiedades funcionales	61
2.4. Cuarta parte: Determinación de Fibra Dietética	62
CAPITULO III. Resultados y Análisis	
3.1. Contenido de Fibra en muestras	68
3.2. Obtención de polvos	68
3.3. Calculo de formulaciones	68
3.4. Propiedades funcionales	69
3.5. Determinación de Fibra Dietética	76
CAPITULO IV. Conclusiones	85
Bibliografía	88
Apéndice I Análisis estadístico	96

INTRODUCCION

En los últimos años se ha incrementado el interés en la búsqueda de fuentes naturales de fibra dietética total. Los residuos vegetales representan una buena opción ya que estos al ser procesados, se acumula una gran cantidad de residuos, que son una fuente rica de compuestos bioactivos como lo son los compuestos funcionales y la fibra dietética. Esta está constituida principalmente de biopolímeros, como lo es la hemicelulosa, celulosa, lignina, pectina y otras gomas que varían en proporción dependiendo de la fuente.

El estudio de la fibra dietética en el mercado es altamente competitivo, ya que al ser adicionada a un producto aporta propiedades benéficas a la salud. Por lo cual existe la necesidad de desarrollar un proceso para la preparación de fibras.

El empleo del nopal por sus propiedades curativas es una práctica milenaria que nunca ha dejado de existir. Ya que desde la época de los aztecas la utilizaban como remedio en la curación de diferentes enfermedades, como es el caso del mucílago que se empleaba para labios partidos, la pulpa para aliviar problemas gastrointestinales, las espinas para la limpieza de infecciones, la fruta para el exceso de bilis, las pencas del nopal servían como apósito caliente para aliviar inflamaciones y la raíz para el tratamiento de hernia, hígado irritado y úlceras estomacales. Es por eso que todavía tiene usos medicinales y alimenticios muy variados.

Recientemente ha sido muy popular el consumo de nopales licuados con alguna fruta como medida para bajar de peso. El único problema de esto es que a muchas personas les es un poco desagradable el mucílago, por eso el polvo de nopal o nopal deshidratado, ha venido a ofrecer una solución para este inconveniente.

El nopal se usa como forraje, pero igualmente se comercializan las pencas tiernas como verdura, éstas se pueden preparar en escabeche, se cocinan en caldos o sopas, ensaladas, en platos fuertes, como antojitos, en salsas, bebidas, postres, mermeladas y un sin fin de usos alimenticios que se le puede dar a esta planta tan rica en propiedades. Pero al obtener toda esta gama de productos se genera una gran cantidad de residuos de nopal (entendiéndose

como las espinas y una parte del tejido), todo esto se debe a la importancia que ha adquirido la industrialización de éste, con fines de exportación.

La fibra dietética total de los alimentos es por sí misma un componente de los alimentos que ofrece efectos fisiológicos benéficos, protegiendo al organismo de diversas enfermedades crónico-degenerativas; por lo cual a esta se le considera como funcional ya que interviene en procesos nutricionales y fisiológicos.

RESUMEN

La fibra dietética presente en el nopal tiene una buena relación soluble e insoluble (1 a 2), que la hace adecuada para poder realizar las funciones que se le han atribuido dentro del organismo.

Investigaciones de laboratorio previas, realizadas con el nopal, han mostrado que el residuo (espina) contiene fibra dietética con relación de fibra soluble e insoluble no tan buena, como las harinas de nopal hechas a base de nopal completo, sin embargo, este puede servir de base para la elaboración de Fibra Dietética ideal. La espina del nopal (RN) se utilizó para elaborar fibra dietética, con una relación fibra soluble e insoluble uno a dos (ideal). Lo cual se debe a que la espina presenta una relación de fibra soluble e insoluble uno a ocho y con esto, la insoluble no favorece el movimiento peristáltico adecuadamente, así mismo, la soluble retarda la absorción de nutrimentos. Por lo tanto, en el siguiente trabajo se elaboraron diferentes formulaciones de fibra dietética, estas formulaciones se realizaron con forme a la mezcla de diferentes fibras solubles, utilizando como base la obtenida del residuo del nopal, las mezclas se realizaron conforme a la cantidad de fibra soluble e insoluble presente en las diferentes fuentes de fibra utilizadas, tratando de obtener la relación 1 a 2.

Las diferentes fuentes de fibras solubles utilizadas fueron: β -glucanos extraídos de la levadura *S. Cerevisiae*, Inulina extraída de Agave tequilana, Nopal sin espina secado a 45° C de la zona de Milpa Alta, Residuo (espina) secado del estado de Hidalgo, Nopal con espina (completo) liofilizado, mucílago de nopal y espina liofilizados.

A estas formulaciones se les determinaron tres propiedades funcionales: Capacidad de absorción de agua (CAA), Capacidad de absorción de grasa (CAG), e Hinchazón. Observando que la formulación con mejor relación de fibra 1 a 2 tiene mejor capacidad de absorción de agua (*8g de nopal y 2g de residuo*) formulación 2 “**10.37**” que esta por arriba de nuestro control (*nopal*) formulación 10 “**6.06**”, por otro lado se obtuvo una baja capacidad de absorción de grasa menor a todos las formulaciones (*residuo de nopal*) formulación 12 “**2.87**”, por lo cual esto quiere decir que el residuo de nopal sin la adición de fibras solubles, puede servir como aditivo para la elaboración de

alimentos donde se necesita bajo contenido de grasa. Así mismo a algunas formulaciones se les determino la cantidad de fibra total por los métodos del AOAC y el de Mañas; siendo este ultimo el que presento mejores resultados, debido a que es más exacto, por que se determina fibra soluble e insoluble por separado.

A. Objetivo General:

- Formular una mezcla de fibra dietética, utilizando el subproducto generado en el desespinado del nopal verdura complementándola con fibras solubles de diferente procedencia, para obtener una fibra dietética con buenas propiedades como la relación soluble e insoluble ideal.

B. Objetivos Particulares:

- Obtener la fibra soluble presente en el nopal y en las espinas para poder adicionarla a la formulación
- Extraer las fibras solubles como lo es inulina y β -glucanos, que serán adicionadas a la formulación.
- Elaborar formulaciones para obtener la relación de fibra soluble/insoluble deseada (1a2).
- Determinar la cantidad de fibra dietética algunas muestras para saber la relación de fibra soluble e insoluble presente en ellas
- Conforme a las propiedades funcionales que presenten estas formulaciones elegir la mas adecuada.

CAPITULO I
ANTECEDENTES

1.1. ALIMENTOS FUNCIONALES

Las tendencias mundiales de la alimentación en los últimos años, se han acentuado hacia ciertos alimentos, que además de proporcionar el valor nutritivo ejercen una acción benéfica sobre algunos procesos fisiológicos y/o reducen el riesgo de padecer una enfermedad. Estos alimentos, que promueven la salud, han sido denominados genéricamente alimentos funcionales (AF). Los AF son alimentos con la característica particular de que algunos de sus componentes afectan funciones del organismo de manera específica y positiva, promoviendo un efecto fisiológico o psicológico más allá de su valor nutritivo tradicional. Su efecto adicional puede ser su contribución a la manutención de la salud y bienestar o a la disminución del riesgo de enfermar (Diplock **et al**, 1999).

El término Alimento Funcional fue propuesto por primera vez en Japón en la década de los 80's con la publicación de la reglamentación para los "Alimentos para uso específico de salud" ("Foods for specified health use" o FOSHU) y que se refiere a aquellos alimentos procesados los cuales contienen ingredientes que desempeñan una función específica en las funciones fisiológicas del organismo humano, más allá de su contenido nutrimental. Los alimentos de este tipo son reconocidos porque llevan un sello de aprobación del Ministerio de Salud y Bienestar del gobierno japonés (Arai, 1996).

Estos alimentos comenzaron a recibir nombres muy variados por lo cual se empleó la siguiente terminología:

Alimento funcional: Cualquier alimento en forma natural o procesada, que además de sus componentes nutritivos contiene componentes adicionales que favorecen a la salud, capacidad física y estado mental de un ser humano. El calificativo de funcional se relaciona con el concepto de "propiedad funcional" esto es; las características de un alimento, en virtud de sus componentes

químicos y sistemas fisicoquímicos del entorno, sin referencia a su valor nutritivo.

En algunos países se define alimento funcional aquel que satisfactoriamente demuestra afectar benéficamente una o más funciones específicas del cuerpo, más allá de los efectos nutricionales (Roberfroid, 2000).

El término alimento funcional aun no es una categoría de alimento legalmente reconocida por la Administración de alimentos y Drogas (FDA), recientemente se han hecho algunos cambios con relación a la información de los beneficios que deben de contener las etiquetas de los productos denominados como alimentos funcionales (Vasconcellos, 2000).

Por su parte, la Asociación Americana de Dietistas (ADA 1999), reconoce el papel que juega potencialmente el beneficio alimentos funcionales, ya que éstos "...deben ser consumidos como parte de una dieta variada, en una forma regular y a niveles efectivos", definición que lo delimita definitivamente del término alimento nutracéutico

Producto nutracéutico: cualquier producto que pueda considerarse como alimento, capaz de proporcionar beneficios saludables. El concepto de alimento nutracéutico se reconoce recientemente como "aquel suplemento dietético que proporciona en forma concentrada un agente presumiblemente bioactivo de un alimento, presentado en una matriz no alimenticia que se utiliza para incrementar la salud en concentraciones mas altas de las que puede contener el alimento normal" (Zeisel, 1999).

Alimentos diseñados: Alimento procesado que es suplementado con ingredientes naturales ricos en sustancias capaces de prevenir enfermedades. Algunas veces este término se utiliza como sinónimo de alimento funcional.

Productos fotoquímicos: Sustancias que se encuentran en verdura y frutas, que pueden ser ingeridas diariamente y muestran un potencial capaz de modular el metabolismo humano (Astiasaran y Martínez 1995).

Actualmente existen muchos alimentos funcionales. En la Tabla 1 se presentan algunos ejemplos de estos.

Tabla 1. Principales componentes funcionales

Clase/Componente	Origen	Beneficio potencial
Carotenoides		
<i>Beta caroteno</i>	Zanahoria	Neutraliza los radicales libres que podrían dañar a las células
<i>Luteína</i>	Vegetales verdes	Contribuye a una visión sana
<i>Lycopeno</i>	Tomate	Podría reducir el riesgo de cáncer de próstata
Fibras dietéticas		
<i>Fibra insoluble</i>	Cáscara de trigo	Podría reducir el riesgo de cáncer de colon
<i>Fibra soluble</i>	Avena	Reduce el riesgo de enfermedad cardiovascular
Ácidos grasos		
<i>Omega 3, ácido graso DHA</i>	Aceites de peces	Podrían reducir el riesgo de enfermedades. Cardiovascular y mejorar funciones mentales y visuales
<i>Ácido linoléico</i>	Queso, productos cárnicos	Podrían mejorar la composición corporal, podrían reducir el riesgo de ciertos tipos de cáncer
Flavonoides		
<i>Catequinas</i>	Te	Neutraliza radicales libres, podría reducir el riesgo de cáncer
<i>Flavonas</i>	Cítricos	Neutraliza radicales libres, podría reducir el riesgo de cáncer
Esteroles vegetales		
<i>Ester estanol</i>	Maíz, soya, trigo	Reduce los niveles de colesterol sanguíneo
Prebióticos/Probióticos		
<i>Fructooligosacáridos</i>	Achicoria, cebolla	Podría mejorar la salud gastrointestinal
<i>Lactobacilos</i>	Yogurt	Podría mejorar la salud gastrointestinal

(Hasler, 2000)

En la tabla 1 se observa que entre los ejemplos de alimentos funcionales se encuentra la fibra dietética (fibra soluble y fibra insoluble)

1.2. IMPORTANCIA DE FIBRA DIETETICA

La fibra dietética juega un papel importante en la salud y en la nutrición por esto mismo se han estimulado una gran cantidad de investigaciones. Numerosos estudios atribuyen a la fibra propiedades diversas como la de ser un regulador intestinal, actuando como laxante, absorbente de ácidos biliares, retarda la absorción intestinal y ayuda a disminuir el colesterol en sangre (Periago *et al* 1993).

Lo cual ha generado la producción de alimentos ricos en fibra. Ya que al adicionar la fibra dietética a los alimentos se obtienen beneficios; como lo es el aumento del valor nutricional, esto motiva al consumidor a comer más cantidad de fibra. Las propiedades tecnológicas de gran interés para los productores de alimentos son incrementar el valor agregado de algunos frutos ya que sus subproductos pueden ser usados como ingredientes o suplementos alimenticios.

Se ha considerado como intervalo seguro el consumo de 20-40g de fibra dietética al día ya que ésta no causa algún efecto adverso en las personas. En el año de 1986 el Instituto de Cancerología publicó que las personas deberían consumir entre 25-30g de fibra dietética por día y que la relación de fibra soluble e insoluble debería ser de 3:1 (Borderias *et al.* 2005) sin embargo otros autores reportaron como el intervalo recomendado para obtener los beneficios fisiológicos debería ser una relación 1:2 de fracción soluble e insoluble respectivamente (Grigelmo *et al.* 1999).

1.2.1. Definición de fibra dietética.

La fibra dietética es una mezcla heterogénea de sustancias con propiedades físicas y químicas muy diferentes, que varían de acuerdo al tipo de alimento. Está constituida de 50 a 80% de celulosa, 10 a 50% de lignina y únicamente una pequeña fracción de hemicelulosa.

La definición de fibra es muy variada ya que se puede definir por el lado fisiológico, el lado botánico, químico, etc. La fibra dietética se puede definir como una sustancia procedente de las plantas que no puede ser digerida por las enzimas del tracto intestinal que incluye sustancias como alginatos, carragenatos gomas, xantanos, dextranos, y polisacáridos. El término de fibra en un sentido botánico, se refiere a la rigidez de los constituyentes fibrosos de las paredes celulares. También puede definirse como sustancia química de distinta composición y estructura tal como celulosa, hemicelulosa y lignina (Heredia et al. 2002).

1.2.2. División de la fibra dietética.

La fibra dietética es dividida en tres grandes componentes (Fennema, 1993)

❖ Polisacáridos estructurales de las plantas:

Siendo sus moléculas básicas la glucosa, la fructosa y otros monosacáridos (hexosas y pentosas). Se pueden distinguir:

Celulosa (Figura 1): Es un componente esencial de todas las paredes celulares de las plantas. Es prácticamente un polímero lineal de unidades de glucosa unidas entre si por enlaces β 1-4. Es considerada relativamente insoluble en agua. Los enlaces hidrógeno entre polímeros paralelos forman micro fibrillas fuertes, las cuales proveen la fuerza y rigidez requerida en paredes celulares de plantas primarias y secundarias.

Es un Polímero de glucosa de por lo menos 300 moléculas que se encuentra en la cubierta de los cereales y en las verduras.

Hemicelulosas: Es un grupo heterogéneo que contiene varios azúcares en su estructura principal. Se encuentran en los mismos alimentos que la celulosa. No se digieren en el intestino delgado, aunque sí se desdobra parcialmente en el colon por la acción de la flora microbiana. La composición varía dependiendo de la fuente vegetal. Suele estar constituida por 50-100 monosacáridos, se clasifica de acuerdo a la cadena esquelética principal, en xilanos, mananos y glucomananos, galactanos y arabinolactanos, algunas poseen cadenas laterales que incluyen en su estructura ácido glucurónico (**Figura 2**)

Pectinas (Figura 3): Son sustancias que se encuentran en el tejido blando de la fruta. Tienen la propiedad de formar un gel en presencia de azúcares, calor y un medio ácido débil. Son ricas en ácidos urónicos. La estructura esquelética consiste de cadenas no ramificadas de enlaces 1 - 4 de ácido galacturónico.

Se utilizan para espesar algunas mermeladas y otras conservas. Las pectinas comerciales son galacturónicas con contenidos variables de grupos metilester. Algunos grupos carboxilo a lo largo de la cadena de ácido galacturónico están esterificados con metanol. Según el grado de esterificación de las pectinas se clasifica como de alto metoxilo o de bajo metoxilo.

❖ No polisacáridos estructurales:

Ligninas (Figura 4): De estructura tridimensional, altamente compleja, se considera bastante insoluble y resistente a la digestión. Compuesta por alcohol sinapílico, alcohol coniferico y alcohol p-cumarico. Forma la estructura de la parte más dura o leñosa del nopal. No es un polisacárido sino un polímero de cadenas de fenilpropano que son totalmente ingeribles.

❖ Polisacáridos no estructurales:

Los polisacáridos no estructurales incluyen hidrocoloides como mucílago, gomas (asociadas con el endospermo y el espacio intercelular) y polisacáridos de algas. Los hidrocoloides son polisacáridos hidrofílicos que forman soluciones viscosas o dispersiones en agua fría o caliente.

Gomas y mucílagos: Son polisacáridos hidrosolubles que poseen una gran capacidad de retención de agua. Están constituidos por miles de unidades de monosacáridos, enlazados por uniones glicosídicas. Las gomas se clasifican como fibra soluble. Entre ellos está la goma-guar (**Figura 5**).

La celulosa y hemicelulosa, al no digerirse en cantidad considerable, actúan arrastrando agua e incrementando la masa fecal, por lo que poseen un efecto beneficioso sobre el estreñimiento.

Los mucílagos, gomas y pectinas poseen un doble efecto. Por su viscosidad ayudan a la absorción de ciertos nutrientes y, por su grado de digestión, promueven el correcto funcionamiento de las bacterias del colon, lo que proporciona una disminución de la inflamación del colon y estimula la regeneración de mucosa en duodeno, yeyuno e íleon.

Suplementando la nutrición con pectina se facilita la adaptación intestinal y la producción de mucosa en los casos de resección.

La celulosa y hemicelulosa se encuentran en la cubierta de los cereales y de las legumbres y en menor concentración en muchas verduras y hortalizas (lechuga, apio, espinacas, zanahorias, judías verdes, nabos, espárragos).

Las pectinas se encuentran en muchas frutas como manzanas, naranjas, limones (en los cítricos abunda precisamente en la capa blanquecina existente entre la cáscara y el interior comestible).

La lignina forma la parte más fibrosa (el esqueleto vegetal) de ciertas verduras y hortalizas (acelgas, calabazas, col, alcachofas) y también de frutas (piña).

La fibra dietética es la parte estructural de las plantas comestibles que el aparato digestivo no digiere y por lo tanto no le provee energía al cuerpo. La fibra se encuentra en los tallos, las hojas, semillas y las secreciones de las plantas. Es un excelente laxante natural ya que provee volumen y absorbe agua, haciendo que el excremento sea suave y fácil de eliminar.

1.2.3 Clasificación de la Fibra Dietética

La fibra dietética se puede clasificar según su relación con la estructura de las paredes celulares, su naturaleza química (polisacáridos no relacionados con almidón y polisacáridos no relacionados con la celulosa) y según la solubilidad de sus componentes en agua y está dada por las estructuras básicas así como por las uniones y ordenamiento de éstas en la matriz fibrosa.

Fibra soluble incluye pectinas (**Figura 6**), gomas, mucílagos y hemicelulosa. Esta se disuelve en agua y al pasar al aparato digestivo va más despacio que la fibra insoluble. La fibra soluble, junto con una dieta baja en grasa, puede ayudara bajar el nivel de colesterol en la sangre (Periago **et al**, 1993).

Fibra insoluble incluye celulosa (**Figura 7**), lignina y fracciones de hemicelulosa insoluble, no se disuelve en agua, predomina en hortalizas, verduras, leguminosas frescas. Proporciona volumen y pasa por el aparato digestivo rápidamente. Estimula el movimiento de los músculos del intestino, lo cual ayuda a mantener la regularidad por los procesos fermentativos y así poder disminuir el tiempo del transito de los alimentos y aumentando la excreción (Periago et al.1993).

1.2.4 Efectos fisiológicos benéficos de la Fibra Dietética

El cuerpo no es capaz de digerir ni la fibra alimenticia ni algunos de los oligosacáridos en el intestino delgado. La fibra favorece el funcionamiento del intestino, aumentando el volumen de masa fecal y estimulando el tránsito intestinal.

Una vez que el carbohidrato no digerible pasa al intestino grueso, algunos tipos de fibras como las gomas y las pectinas, así como los oligosacáridos, son fermentados por la microflora intestinal. Esto hace que aumente la masa general del intestino grueso tiendo un efecto benéfico para la regeneración de la microflora.

Actualmente se está introduciendo el concepto de Fibra Dietética Antioxidante (ADF), la cual se define como un producto que contiene cantidades significativas de antioxidantes naturales asociados con la matriz fibrosa. Se ha propuesto que contenga al menos 50% de Fibra Dietética Total en base seca, un gramo de fibra debe ser capaz de inhibir la oxidación lipídica comparablemente con la actividad del tocoferol a 200mg y tener actividad secuestrante sobre radicales libres equivalente a por lo menos 50 mg de vitamina E (Saura-Calixto, 1998).

Los efectos atribuidos a la fibra dietética son varios sobre la dieta en el organismo como lo es:

- *Reducción de la absorción de colesterol y grasa en el intestino:*

También llamado regulador del metabolismo lipídico y efecto hipocolesterolémico, esta relacionado con la fibra dietética soluble ya que esta disminuye la absorción de ácidos grasos, lípidos y colesterol en el intestino por la viscosidad de las fibras solubles al formar un gel coloidal en el lumen intestinal o bien por la disminución de la digestibilidad de los lípidos como consecuencia de una inhibición en la formación de la micela grasa al absorber a los ácidos biliares. La fibra dietética insoluble tiene un efecto indirecto ya que cuando se reduce el tiempo del transito intestinal disminuye la absorción intestinal y por lo tanto la absorción de lípidos y colesterol. (Thebaudin **et al.** 1997)

- *Regulador del metabolismo de glucosa:*

La fibra dietética en la dieta produce un retraso en la absorción de glucosa en la sangre, en el intestino, esto se asocia al contenido de ácidos urónicos (sustancias pécticas) y fibra soluble. Debido a que capta agua y forma geles coloidales, disminuyendo la absorción intestinal de monosacáridos y disacáridos.

- *Usos terapéuticos de la fibra dietética*

La fibra dietética puede utilizarse como factor preventivo y curativo para el tratamiento de un gran numero de enfermedades como lo es la prevención y

tratamiento de patologías coronarias asociadas a hipercolesterolemias por el efecto reductor que posee sobre los niveles de colesterol y triglicéridos plasmáticos y hepáticos.

En enfermedades gastrointestinales, siendo aconsejable su utilización en el control de distintos procesos patológicos como: hernia de hiato, úlcera péptica, enfermedades de la vesícula biliar, apendicitis, estreñimiento, cáncer de colon y enfermedad de intestino irritable.

- *Incremento del volumen fecal y disminución del tiempo de tránsito intestinal.*

Los efectos desarrollados en el sistema gastrointestinal están en relación con las características físico-químicas de la fibra dietética como lo son la fermentabilidad y la capacidad de retención de agua. La fibra dietética favorece el tránsito del quimo alimenticio a través del intestino delgado, existiendo una relación directa entre el contenido de fibra dietética en la dieta y la velocidad a la cual los nutrientes transitan a lo largo del tracto intestinal. La capacidad de retención de agua o hidratación es mayor en las fibras solubles, esto se debe a que las pectinas y gomas, por su acción osmótica captan agua y tienen la capacidad de formar coloides tipo gel, con ello retrasan el proceso fisiológico del vaciado del estómago, melifican el quimo, retrasando la absorción intestinal y proporcionando mayor humedad, peso y volumen a las heces. Esta capacidad de retención de agua esta inversamente relacionada con la fermentación de las fibras del colon. A menor digestibilidad y fermentabilidad se produce una mayor retención de agua, sin embargo la fibra pierde esta capacidad tras haber sido fermentada. (Periago **et al.** 1993)

Algunos efectos atribuidos a la fibra se presentan en la tabla 2

Tabla 2. Efectos fisiológicos atribuidos a la fibra dietética

Sensación de saciedad. Menor ingestión de alimentos
Regulación intestinal
Disminución de tiempo en tránsito intestinal de los alimentos
Retraso de la absorción de glucosa. Menor índice de glucemia
Disminución de la colesterolhemia
Menor contenido energético de la dieta
Mantenimiento y desarrollo de la fibra bacteriana intestinal
Mayor excreción de grasa y proteína

Cuadernos de nutrición 1999

1.2.5 Propiedades Funcionales de la Fibra Dietética

La acción fisiológica de la fibra dietética depende de sus propiedades fisicoquímicas, las cuales no se relacionan con la composición química o propiedades nutricionales. Ahora la fibra dietética en la industria alimentaria busca que los ingredientes de las formulaciones faciliten la preparación de las mismas.

Las propiedades funcionales son características de utilidad tecnológica que pueden ser explotadas para la formulación de productos mejorando su estabilidad, modificando su textura, estabilidad, etc., y dependen directamente de la estructura molecular del alimento y por tanto de las interacciones que se puedan presentar en un medio determinado.

El estudio de las propiedades funcionales de cada uno de los componentes de un sistema alimenticio, permite obtener mayor información para la mejor explotación de dichas propiedades dentro del sistema alimenticio mismo o para el desarrollo de productos en los que se utilizan las fracciones de importancia funcional.

Las propiedades funcionales de la Fibra dietética están definidas por las estructuras y la concentración de cada uno de los componentes de ésta. Dentro de las más estudiadas se encuentran la hidratación y efecto estabilizante de emulsiones, de modo que al evaluarlas, se obtiene el nivel óptimo de uso en el alimento, ya que como propiedades tecnológicas, influyen directamente sobre las características sensoriales de los alimentos así como en el aporte de

características que facilitan el procesamiento de los mismos. Consecuentemente, tanto el valor nutricional como las propiedades tecnológicas de las fibras dietéticas son de suma importancia en el desarrollo de una amplia variedad de alimentos enriquecidos en fibra (productos horneados, salsas, bebidas, cereales, bizcochos, productos lácteos, productos cárnicos) (Thebaduin **et al.** 1997).

Las siguientes características inciden en la respuesta fisiológica de la fibra dietética:

- **Capacidad de retención de grasa (CRG)**

Las fibras solubles pueden retener más de cinco veces su masa en aceite. Esta propiedad es explotada en los alimentos (productos cárnicos) para incrementar su retención de grasa la cual es perdida normalmente durante el cocimiento (Thebaduin **et al.** 1997).

- **Capacidad de Retención de agua (CAA)**

La capacidad de retener agua, es la habilidad de la fibra de atrapar agua dentro de su matriz y se debe a numerosos grupos polares libres de sus azúcares constituyentes. A mayor retención de agua, mayor solubilidad y capacidad de volverse viscosa dentro del estómago (Edwars. 1990).

- **Hinchazón**

Este fenómeno puede dar lugar a la solubilidad de las moléculas. Para algunos polisacáridos, la celulosa, la dispersión final no es posible a su conformación lineal y ordenada. La celulosa se hincha pero no se solubiliza. El agua entra a la estructura sólida y separa las macromoléculas hasta que queden completamente extendidas y dispersas (Bach Knudsen, 2001).

- **Viscosidad**

Las fibras solubles son pectinas y gomas, son capaces de formar soluciones altamente viscosas, esta propiedad es dependiente del volumen hidrodinámico del polisacárido y no de su composición química.

- **Sitios de degradación**

En el intestino grueso se degradan los glúcidos complejos que no pueden ser digeridos y absorbidos en el intestino delgado, la degradación es debida a la utilización de estos como sustratos de la microflora.

- **Capacidad de enlazamiento**

Fibras dietéticas enlazan fuertemente ácidos biliares, tanto in vitro como in vivo. Esta absorción puede incrementar la excreción de ácidos biliares en las heces, provocando demanda por el colesterol en la síntesis de ácidos biliares lo cual inducirá a un desvío de la ruta de síntesis de lipoproteínas, el efecto producido es la reducción del colesterol plasmático, esto explicaría el efecto hipocolesterolemico observado por el consumo de fibra (Story y Furumoto 1990).

- **Capacidad de intercambio cationico**

Propiedad de la fibra cuya función es servir como reservorio de metales como sodio, potasio, calcio magnesio, los cuales pueden ser remplazados a pH bajos para luego intercambiarse por nuevos cationes. Esta propiedad puede ser un factor positivo para la digestión fermentativa, pero no siempre ya que puede conferir efectos negativos sobre la biodisponibilidad de minerales (Gordon, 1990).

1.2.6 Aplicaciones de la Fibra Dietética

Los productores de alimentos utilizan comúnmente fibras solubles purificadas en bajas concentraciones por las propiedades funcionales que éstas presentan. Las fibras insolubles las utilizan por los beneficios nutricionales que aportan

Algunos ingredientes ricos en fibra dietética pueden ser usados por sus propiedades texturizantes o estabilizantes (retención de agua y aceite).

La fibra puede ser usada en productos cárnicos cocinados para incrementar sus rendimientos (emulsiones cárnicas, patés, salchichas), por sus propiedades de retención de agua o aceite. Cuando la fibra es adicionada hay una

significante disminución de la pérdida de grasa o agua durante el cocimiento; por otro lado, la textura también se mejora.

Hay reportes en la literatura de que la adición de algunas fibras (celulosa, soya, guisante, remolacha de azúcar) a alimentos fritos como pescado, pollo y pastel tipo buñuelo, controlan la transferencia de aceite y agua.

Muchos trabajos han llevado a incrementar el contenido de fibra insoluble en productos de panadería, galletas y barras de cereales, adicionando fibras de cereales (salvado de trigo, de avena, cebada, maíz), de frutas (cítricos, manzana), vegetales (guisante, remolacha de azúcar) y celulosa. La fibra puede sustituir una parte de la harina o de la grasa, y es adicionada principalmente por sus beneficios nutrimentales (reducción del contenido calórico, incremento del contenido de fibra), pero también, en el caso de algunas fibras no purificadas, por sus efectos de sabor y color. Además, es explotada por sus propiedades de retención de agua y texturizantes, por sus efectos en el volumen de las pastas y pasteles, así como para la conservación del pan (efecto antioxidante).

En galletas, la sustitución de harina con salvado de trigo y celulosa dan textura firme. En pasteles y bizcochos, la sustitución de una parte de la harina por fibra (fruta, remolacha de azúcar, salvado de trigo, celulosa o piel de jitomate) incrementa su firmeza y conserva la textura durante el almacenamiento.

Algunas fibras dietéticas, principalmente la de celulosa, pueden ser adicionadas como crioprotectores en surimi, por sus propiedades modificadoras de la textura, así como estabilizantes de productos descongelados. La fibra dietética es de interés nutrimental y técnico en la formulación de bocadillos, tortillas de trigo, incrementando la estabilidad así como dando buenos rendimientos.

La fibra es empleada también para incrementar el contenido de Fibra Dietética Total de barras de cereales, cereales para desayuno (extruído, inflado, moldeado), productos a base de frutas y yogurt. También puede ser usada en sopas y salsas por sus propiedades de textura y de retención de agua,

incrementando su fluidez y evitando la formación de grumos. También pueden ser usadas en bebidas dietéticas, como sustitutos de harinas, bebidas deportivas y bebidas para desayuno (Thebaudin **et al.**, 1997).

1.2.7 Determinación del contenido de Fibra Dietética

La determinación del contenido de fibra dietética en alimentos y en productos alimenticios, requiere de un método simple y preciso. En las últimas dos décadas se han desarrollado una gran cantidad de procedimientos para el análisis de fibra dietética, el más ampliamente usado en la actualidad es el método oficial de la AOAC (Prosky **et al.** 1985). Sin embargo han sido descritos algunos errores asociados con éste método analítico (Mañas y Saura-Calixto, 1993, 1994). También existen métodos por cromatografía de gas, calorimétrica, para poder determinarla (Rodríguez **et al.**, 2006)

Método del AOAC.

El objetivo de éste método para la determinación de fibra dietética es medir el contenido de la fracción tradicionalmente definida como fibra (polisacáridos que no son almidón y lignina). En éste método la muestra es tratada con enzimas proteolíticas (proteasa) y amilolíticas (α -amilasa y α -amiloglucosidasa), para remover las proteínas y el almidón presentes. La mezcla obtenida es precipitada con etanol y el residuo es filtrado y pesado después de los lavados. El residuo contiene proteína residual y materia mineral, por lo que se debe realizar la corrección para proteína (usando el factor 6.25) y cenizas, después de la incineración, (Southgate 1969)

Hay evidencia de que una parte significativa del contenido de almidón en alimentos, llamado almidón resistente (Englyst **et al.** 1982) no se digiere ni se absorbe en el intestino delgado, además de otras sustancias que no están incluidas en la definición de la fibra dietética como, proteínas, oligosacáridos, algunos compuestos polifenólicos, etc. (Cummings y Macfarlane 1991). Estas sustancias pueden ser fermentadas por la microflora del colon, presentando efectos fisiológicos similares a los de la fibra dietética.

Por lo cual, la tendencia general de la mayoría de los nutriólogos es extender el concepto de fibra dietética para incluir la mayor cantidad de constituyentes alimenticios que se encuentran en el colon para ser sustrato de la microflora fermentativa. (Saura-Calixto, 1988). Esto ahora, extiende el concepto de fibra dietética, demandando una modificación de los procedimientos analíticos actuales, de ésta manera todos éstos compuestos podrían ser cuantificados en un análisis simple.

Método de Mañas.

Es una modificación del método de la AOAC para determinar Fibra Dietética Total. Los reactivos y las condiciones son las mismas, (Prosky **et al.**, 1988), pero únicamente se emplea la mitad de la muestra y los reactivos requeridos por la AOAC. La diálisis reemplaza a la precipitación alcohólica para obtener los valores de Fibra Dietética Soluble, mientras que los valores de Fibra Dietética Insoluble se obtienen del residuo que queda después del tratamiento enzimático, su centrifugación y la hidrólisis con ácido sulfúrico.

La cuantificación de Fibra Dietética Total por el método de la AOAC acarrea muchas fuentes de error, al ser una cuantificación gravimétrica.

Algunos componentes pueden ser retenidos en los residuos o pueden precipitar con los constituyentes de la Fibra Dietética. Aunado a esto al realizar las correcciones para proteína, cenizas y el blanco, éstas son poco precisas, y subestiman el valor real de Fibra Dietética Total.

Así como también se subestima el valor de Fibra Dietética Soluble ya que ésta puede perderse durante los lavados de la Fibra Dietética.

Por tal motivo, por el método de Mañas, la diálisis sustituye la precipitación alcohólica evitando la precipitación de sustancias no fibrosas (sales inorgánicas de los reactivos, compuestos inorgánicos y orgánicos presentes en la muestra) y se evita la corrección de blanco, cenizas y proteína.

Por otro lado, la obtención de valores individuales obtenidos por éste método, proporciona información importante acerca de las propiedades fisiológicas de la fibra dietética

1.2.8 Obtención de polvos

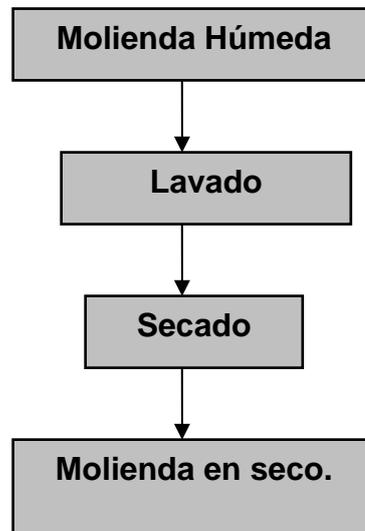
El mercado de la fibra dietética es altamente competitivo, para el desarrollo de nuevos productos ya que ésta aporta propiedades benéficas a la salud. Por esta razón la fibra dietética ideal debe cumplir con algunos requerimientos como lo son:

- No tener componentes antinutrimientales
- Ser tan concentrada como sea posible de modo que una mínima cantidad puede tener un efecto fisiológico máximo.
- Sabor, color, textura y olor suave
- Composición balanceada (fracción soluble e insoluble adecuada) y cantidades adecuadas de compuestos bioactivos.
- Buena vida de anaquel, que no afecte al alimento al que se adiciona.
- Ser compatible con el procesamiento del alimento
- Cumplir con los efectos fisiológicos esperados
- Precio razonable.

Las principales características de los productos comercializados son: contenido de fibra dietética total mayor al 50%, humedad inferior al 9%, bajo contenido lipídico, un valor calórico bajo (menor de 8.36 kJ/g), sabor neutro y buen gusto (Anon, 1987).

Las principales etapas en la producción de polvos de fibra dietética en frutas se presentan en el esquema del procedimiento.

Esquema del Procedimiento



- Molienda húmeda:

En el material fresco y húmedo, no es apropiado un tamaño de partícula muy pequeño porque puede absorber una gran cantidad de agua durante el lavado, lo cual no es conveniente durante el proceso de secado. Además, pueden ocurrir pérdidas del material finamente molido, en el lavado, durante la eliminación del agua. (Larrauri 1994). Por otro lado, un tamaño de partícula excesivamente grande, no facilita la remoción de compuestos indeseables (como azúcares) durante el lavado, además se necesitarían largos tiempos de secado. Se han usado diferentes tamaños de partícula en la molienda del material (0.6 a 2.0 cm.), lo cual está relacionado con los procedimientos desarrollados y el tipo de muestra.

- Lavado:

La remoción selectiva de compuestos no deseables asociados a la fibra dietética y la remoción de microorganismos potencialmente patógenos, son el principal objetivo de esta operación.

Por otro lado, también puede haber pérdida de algunos componentes solubles que contribuyen a la capacidad de retener agua de la fibra, tales como la pectina (Larrauri 1994).

La remoción de azúcar del material húmedo contribuye al proceso de secado, evitando la coloración oscura del producto seco. Además de que se obtiene un producto con menor contenido calórico.

- Secado:

La remoción del exceso de agua del material lavado, previo al secado, es importante para proteger, prensar y obtener la pulpa o bien para otros procesos posteriores. Diferentes mecanismos como presión helicoidal o maquina despulpadora son preferidas al equipo por lotes, como el de presión hidráulica. (Ferguson. 1978).

El secado es el paso principal y el más caro en la producción de la fibra dietética. La vida de anaquel de la fibra se incrementa sin la necesidad de adición de algún conservador químico y se reducen el tamaño del empaque y los costos del transporte.

Son usados diferentes métodos de secado en la industria de los alimentos: transportador de túnel, horno rotatorio, secador de tambor, de charolas, etc.

Previo al uso de alguno de éstos métodos para la producción de fibra dietética, es importante tomar en cuenta las características del material a secar (alta humedad y bajo contenido de azúcares) para elegir un procedimiento adecuado que minimice los efectos adversos del proceso sobre la calidad del producto.

- Molienda en seco:

Muchas fibras son molidas para obtener una mejor aceptación el producto final, las fracciones obtenidas pueden tener una composición diferente. La molienda puede afectar las características de hidratación de las fibras así como la textura, aspecto y calidad del alimento al que será adicionada (Larraruri 1994).

1.2.9 Usos Potenciales de Fibra Dietética

En años recientes se inició la comercialización de fibra deshidratada de nopal como auxiliar en trastornos digestivos. Por otra parte estudios recientes demostraron que el nopal presenta la característica de controla los niveles excesivos de azúcar en el cuerpo.

El análisis de la composición química de un extracto antidiabético de nopal indica azúcares reductores, principalmente glucosa. Trabajos recientes indican que el factor antidiabético activo en cactáceas, y otras xerófitas, es un compuesto que presenta características y propiedades de una saponina.

Los estudios realizados por el Instituto Mexicano del Seguro Social han mostrado que la administración en ayunas de cladodios de nopal a individuos sanos y diabéticos causa disminución de glucosa. En los primeros produjo menor elevación de glucosa y de la insulina sanguínea. No ha sido posible determinar el principio activo del nopal que tiene acción sobre el metabolismo de los glúcidos.

Por otra parte, la pulpa deshidratada del nopal da por resultado un material fibroso cuya función medicinal se basa, como cualquier otra fibra natural, en favorecer el proceso digestivo, reduciendo el riesgo de problemas gastrointestinales y ayudando en los tratamientos contra la obesidad.

Adicionalmente, la fibra disminuye el nivel de lipoproteínas de baja densidad (que son las que se acumulan en las arterias causando problemas de arteriosclerosis). También disminuye el colesterol en la sangre al interferir en la absorción de grasas que realizan los intestinos.

Actualmente, el aprovechamiento integral de los recursos viene a ser una necesidad urgente ante el desperdicio estacional que sufren éstos y la solución a las limitantes actuales de los habitantes. Entre las transformaciones que puede tener el nopal están la elaboración de productos como champú, crema, jabones, y otros, cuya demanda ha aumentado considerablemente gracias al incremento de los patrones naturistas de consumo.

1.2.11. Fuentes naturales de Fibra Dietética

En México, así como en países subdesarrollados, el consumo de dietas basadas en vegetales ricos en fibra dietética, cobra cada vez mayor importancia.

De acuerdo a Rosado **et al.** (1993) el contenido de fibra dietética total en cereales y productos a base de cereales es de 0.2 a 26%; para frutas 0.3 a 7%; para verduras 0.9 a 45%, y para legumbres 3 a 7%. En la tabla 3 se presenta un ejemplo del contenido de fibra dietética en algunas verduras.

Tabla 3. Contenido de Fibra Dietética de las verduras más comúnmente consumidas (g/100g, base seca)

<i>Alimento</i>	<i>Fibra dietética insoluble</i>	<i>Fibra dietética soluble</i>	<i>Fibra dietética total</i>
Jitomate	16.66	3.33	18.3
Chile serrano	35.52	1.97	36.8
Aguacate	18.63	11.18	29.19
Espinaca	25.49	2.94	28.23
Pepino	15.21	4.34	19.34
Acelga	25	1.08	26
Cilantro	27.14	3.57	30
Apio	28.12	1.56	29.68
Lechuga romana	23.57	3.92	26.91
Berros	37.17	1.28	37.17
Epazote	36.55	1.37	37.24
Perejil	31.20	2.12	32.62
Rábanos	27.02	2.70	29.72
Chile piquín	38.21	4.69	42.45
Nopal	14.5	28.5	43.0

Rosado et al. (1993)

1.2.12 Obtención de Fibra Dietética a partir de residuos agroindustriales

Recientemente la suplementación con fibra ha sido enfocada en el uso de subproductos de cereales finamente molidos, como el trigo, maíz, sorgo y diversos granos. Sin embargo hay muchas otras fuentes de Fibra Dietética, como lo es el subproducto obtenido del procesado de frutas, vegetales y cereales poco usados, como la cebada, los cuales son una fuente importante de suplementos de fibra dietética (Mc Kee y Latner, 2000).

Los residuos vegetales están compuestos principalmente de tres tipos de biopolímeros: hemicelulosa, celulosa y lignina, por lo que también se les conoce como lignocelulósicos (Leal, 1982). Ante esto, los residuos vegetales resultado del procesado de frutas y verduras representan una buena opción como fuente de Fibra Dietética Insoluble.

En la tabla 4 se muestra el contenido de FD en diversos subproductos industriales:

Tabla 4. Composición de FD de salvado de cereales y concentrados de FD obtenidos de subproductos de frutas y verduras (g/100g, base seca).

	Fibra Dietética Total	Fibra Dietética Insoluble	Fibra Dietética Soluble
manzana	60.1	46.3	13.8
pera	36.1	22.0	14.1
naranja	37.8	24.2	13.6
durazno	35.8	26.1	9.7
alcachofa	58.8	44.5	14.3
espárrago	49.0	38.6	10.4
Salvado trigo	44.0	41.1	2.9
Salvado avena	23.8	20.2	3.6
Salvado maíz	87.87	87.47	0.40
Bagazo cebada	43.11	41.42	1.69

(Grigelmo **et al.**, 1999; Periago **et al.**, 1993)

Esto muestra que hay una gran variedad de materiales naturales de los cuales se puede obtener Fibra Dietética.

Los principales pasos para obtener fibra dietética de subproductos industriales son los mismos para la obtención de polvos que es molienda, lavado y secado. Cabe mencionar que para la parte de secado se han reportado seis criterios para la selección del método de secado los cuales son:

1. Propiedades físicas y químicas de los productos
2. Energía de conservación
3. Optimización del espacio
4. Buena utilización por parte del técnico
5. Abatimiento del aire u otra contaminación
6. Rendimiento aceptable sobre el costo del capital

El secado de doble tambor es el método de secado más favorable, considerando tanto los costos de capital como los de operación. Además la calidad del producto es importante porque puede tener lugar la aglomeración u oscurecimiento excesivo del producto.

Hay poca información donde se señala la influencia del proceso de secado sobre la calidad de la fibra, pero en general, el tratamiento severo de calor rompe la membrana celular y libera el contenido celular, afectando la estabilidad de los polisacáridos como la pectina (Hamaca y Nawar, 1991).

Para obtener productos a base de fibra dietética, se han desarrollado una gran cantidad de procesos. Los siguientes tratamientos han sido propuestos para obtener fibra dietética insoluble, la cual es el principal componente de algunos productos comercializados (Larrauri, 1999):

- Delignificación parcial de lignocelulosa por tratamiento alcalino con peróxido de hidrógeno.
- Extrusión.
- Encapsulación con fibra soluble para producir un producto con mejores propiedades de textura y mejor relación fisiológica.
- Modificación enzimática para brindar propiedades sensoriales.

Para preparar fibras a partir de subproductos industriales se requiere desarrollar un proceso que minimice la pérdida de compuestos bioactivos asociados (flavonoides, polifenoles, carotenoides, etc.) los cuales pueden dar beneficios a la salud, mejorando los efectos que la fibra dietética tiene por si misma (Nagy y Attaway. 1992).

- Con respecto a los efectos de los tratamientos tecnológicos sobre las propiedades fisicoquímicas de la fibra, la literatura es escasa y algunas veces contradictoria, ya que se observan diferentes materiales y metodologías para medir la fibra dietética, así como las condiciones de proceso. Sin embargo, es factible designar como fibra fisiológicamente funcional a aquella que puede satisfacer las demandas para prevenir algunas enfermedades (Byme, 1994)

1.3 NOPAL

1.3.1 Descripción de la planta

Los nopales son plantas carnosas, arbusivas o arbóreas, de 1 a 5 m de altura, con tallos cilíndricos y ramas verdes integradas por fragmentos aplanados, oblongos, o de otra forma, llamados pencas, raquetas, artículos, cladodios y nopalitos cuando están pequeños e inmaduros. En esta fase, se presentan hojas pequeñas cilíndricas y curvas, en las pencas hay espinas y ahuates (gloquidias) localizadas en las áreas llamadas areolas. Algunas se localizan en la parte superior formando las flores, que son grandes y hermafroditas dotadas con un perianto de varias piezas de colores como rojo, anaranjado amarillo, rosa y púrpura. También poseen numerosos estambres blancos y un ovario con pistilo simple que contiene estigmas verdes. Los frutos son bayas ovoides, carnosas secas de 3 a 12 cm. de longitud de colores como verde, amarillo, rojo, anaranjado, púrpura, conocidas comúnmente como tunas o xoconostles.

Los nopales son plantas perennes que florecen entre febrero y junio principalmente y se agrupan en dos géneros: *Nopalea* constituido por plantas que tienen los estambres más grandes que el perianto y *Opuntia* en el que los estambres son más cortos (Bravo-Hollis 1978)

El nopal que pertenece al género *Opuntia*, es de la familia de las cactáceas (Cactaceae). Las cactáceas son nativas del Continente Americano, en específico de la América Tropical. Algunas especies son: *Opuntia* sp; Nopal de tuna camuesa (***Opuntia robusta***); nopal cardón (***O. streptacantha***); nopal de la cochinilla (***Nopalea cochenillifera***); taponá (***O. taponá***); xoconostle o tuna huell (***O. imbricata***).

El género *Opuntia* se divide en dos subgéneros: el *Cilindropuntia* y el *Platyopuntia*.

El subgénero *Platyopuntia* agrupa a las especies del género *Opuntia* que presenta tallos aplanados o pencas en forma de paleta, el cual es cubierto de

pequeños agrupamientos de pelos rígidos llamados gloquidios mejor conocidos como aguates.

En la tabla 5 se presenta la clasificación taxonómica del nopal.

Tabla 5. Clasificación taxonómica

Reino	Vegetal
Subreino	Embryophyta
División	Angioserma
Clase	Dicotiledoneae
Subclase	Dialipetalas
Orden	Optuniales
Familia	Cactaceae
Tribu	Opuntiae
Subfamilia	Opuntioideae
Genero	Opuntia
Subgénero	Platyopuntia

Briton y Rose, (1963), en Bravo-Hollis, (1978)

1.3.2 Morfología del nopal

Las cactáceas presentan hábitos y estructuras anatómicas de adaptación altamente especializados que les imparten una fisonomía particular. De estas estructuras especializadas se consideran responsables:

- **el medio árido y desértico en que crece**
- **la adaptación posterior de otras a la vida trepadora en las selvas tropicales húmedas y**
- **posiblemente los diversos tipos de polinización que experimentan principalmente por medio de los insectos, aves y quirópteros.**

Existe un elevado número de especies y variedades, siendo las más conocidas: *Opuntia streptocantha* (Tuna cardona), que cuenta con variedades con espinas y sin espinas y que produce un gran tonelaje de forraje: *Opuntia ficus indica* (Tuna de Castilla), *Opuntia leptocantis* (Tasajillo), *Opuntia imbricata*

Xoconoztle, nopal real (Tuna brava). Entre las especies sin espinas se conocen algunas de Aguascalientes, Hidalgo y Jalisco y otras de los Estados Noreños de México y Meridionales de los Estados Unidos.

Se ha observado que los nopales sin espinas se vuelven espinosos cuando se les planta en terrenos muy pobres o cuando se les somete a cambios del medio ambiente.

RAÍZ. El sistema radicular es perenne, extenso y superficial. Las raicillas secundarias están provistas de pelos absorbentes, caducas, ya que su presencia se limita a la época de lluvias, por lo que su estructura y funcionamiento le permite captar con eficiencia la mayor cantidad de agua durante los breves período de lluvias. Tiene funciones semejantes a las otras dicotiledóneas, procede de la radícula del embrión, fija la planta en el suelo.

Hay tres tipos de raíces:

- *Cuando la raíz principal adquiere mayor desarrollo que las secundarias.*
- *Cuando las raíces secundarias crecen más que la principal.*
- *Cuando la raíz primaria y las secundarias alcanzan aproximadamente el mismo desarrollo.*

Desde el punto de vista fisiológico, la raíz principal constituye el sistema de fijación y las raíces secundarias intervienen particularmente en la absorción. El sistema de absorción tiene que adaptarse para captar el agua con rapidez, por lo que tiene ramificaciones extraordinarias. Como la raíz de las cactáceas es un órgano que en algunas especies almacenan agua y conservan las reservas nutritivas adquieren diversas formas.

HOJAS. La base de la hoja se transforma en un tubérculo poco prominente, el pecíolo desaparece y el limbo se reduce, adquiriendo formas cónicas o cilíndricas y es generalmente caduco, a veces puede persistir como una espina cuando los tejidos se esclerifican.

TALLOS. Los nopales con artículos planos se denominan cladodios. Estos están tiernos, suculentos y poco lignificados. Varían en forma, tamaño y ramificación

FLOR. Las flores son diurnas, solitarias, sentadas, nacen en la base de los árboles que funcionan indistintamente como yemas florales o vegetativas. Constan de un cáliz con tubo oval, soldado con el ovario y con el limbo, muchos pétalos, numerosos estambres persistentes. Presentan colores vivos y brillantes.

La apertura de la flor tarda en promedio 55 días después de la aparición de las yemas florales. La flor permanece abierta durante 24 horas; el punto exacto donde se comienza a contar la vida del fruto, es a los dos días, después de la apertura de la flor.

FRUTO. El fruto es una baya ovoide, cilíndrica, de diversos colores, umbilicada en el extremo superior (cicatriz floral), pericarpio correoso, con numerosos colchones de ahuates distribuidos en tresbolillo, semillas de color variable, llamado tuna o higo chumbo (en España).

ESPINAS. Las espinas suelen ser hojas modificadas que tienen la función de proteger al nopal contra los animales silvestres, así como proporcionarle sombra y protección al tallo, ya que los rayos solares forman una coraza condensando la humedad, dirigiéndola hacia las raíces donde es absorbida.

Las espinas se clasifican por la posición en la que crecen dentro de la areola; en radiales y centrales, las primeras se les nombran de esa manera por que surgen de la periferia de la areola y las segundas son las que se producen dentro de esta.

El genero *Opuntia* sp. Presenta gloquidias mejor conocidas como aguates, estos surgen en grupos numerosos y compactos, que llegan a medir de dos a cinco milímetros de largo, estas tienen ganchos que pueden ser dolorosas al contacto (Lerma 2004).

Composición de las espinas

Las espinas en base seca corresponden al 8.4% del nopal. Contienen un 96% de polisacáridos, principalmente son celulosa con 49.7% y arabinosa con 50.3%, los cuales forman un complejo de micro fibrillas de celulosa embebidas en una matriz de arabino-furanos. Las espinas tienen una gran rigidez, lo cual

está asociado a la organización de la celulosa dentro de las espinas. Esto le permite su defensa contra la depredación (Malainine **et al.**, 2003)

1.3.3 Composición Química

El nopal tiene una composición química muy variable, ya que depende de diferentes factores como el lugar donde se cultivo, la época del año, así como la edad de la planta. (Malainine **et al.** 2003)

Se reportó un estudio sobre la composición química del nopal realizado en Chapingo, México, de acuerdo a la tabla 6. Borrego y Burgos (1986)

Tabla 6. Composición química del nopal (g/100g, base seca)

Especies	Materia seca	Proteína cruda	Extracto etéreo	Ceniza	Fibra cruda	E.L.N.
<i>Opuntia spp</i>	10.0	20.0	3.0	12.0	8.1	55.0
<i>O. ficus indica</i>	8.0	6.8	1.0	8.88	-----	81.25
<i>O. ficus indica</i>	7.96	4.04	1.43	19.92	8.94	65.67
<i>O. imbricata</i>	10.4	5.0	1.80	17.30	7.80	68.10

(Borrego y Burgos1986)

Dentro de la composición química del nopal, se encuentra un alto contenido de agua aproximadamente de 90 a 95%. Siendo el mayor porcentaje en cladodios jóvenes que en adultos (Granados, 1991). Entre los minerales que contiene, los principales son el calcio y el potasio además de magnesio, sílice, sodio y pequeñas cantidades de hierro, aluminio, y magnesio, entre algunos otros.

De acuerdo a lo reportado por Malainine **et al.** (2003), los constituyentes de los Cladodios y Espinas de *Opuntia ficus-indica* se comparan en la tabla 7.

Tabla 7. Composición química de Cladodios y Espinas de *O. ficus indica* (g/100g, base seca)

Constituyente	<i>Cladodios</i>	<i>Espinas</i>
Cenizas	19.6	1.3
Grasa y ceras	7.2	1.2
Lignina	3.6	1.2
Celulosa	21.6	47.9
Otros polisacáridos	48.0	48.4

Malainine et al. (2003)

El nopal contiene también, en varias proporciones, diferentes carbohidratos y componentes nitrogenados uno de estos componentes es la fibra dietética.

Fibra dietética

Según Saenz (2000), se determinó el contenido de fibra dietética total en harina de cladodio conteniendo un porcentaje de humedad del 7.14% (Tabla 8).

Tabla 8. Contenido de FDT en harina de cladodio (g/100g, base seca)

Fibra Dietética Total	Fibra Dietética Soluble	Fibra Dietética Insoluble
43.0	28.5	14.5

Saenz (2000)

Los componentes de la fibra dietética a considerar son la celulosa, hemicelulosa y lignina, así como las gomas y mucílagos (conocidos como la baba del nopal) cuya presencia causa problemas de conservación, procesamiento, estabilidad y aceptación del producto por parte del consumidor.

Mucílago

Es un polisacárido ácido viscoso, complejo e indigerible que posee una estructura ampliamente ramificada con unidades de galactosa con enlaces β (1-3), en el carbono 6 de ácido galacturónico, D-galactosa, D-xilosa y L-

ramnosa en la forma piranosa y unidades L-arabinofuranosa que se encuentra contenido dentro de grandes células vesiculares de los parénquimas.

La fórmula molecular que se dedujo con microscopia electrónica para este compuesto es $(CH_2O)_n$, ya que está formado por C (42.5%), H (6.31%), O (51.2%), Ca (0.22%) y Mg (0.013%), sin presentar proteínas y aminoácidos en su composición. El mucílago presenta un pK = de 4.8 determinado por titulación al purificarlo. Un estudio sobre la composición de las células del mucílago de *O. ficus indica* reveló que el mucílago es un polisacárido de alto peso molecular que se comporta como un polielectrolito.

El mucílago tiene como función retener el agua en el nopal y puede ser modificada por: el pH de la célula, la presencia de azúcares y/o las diferentes concentraciones de cationes como el calcio que están en una relación igual a 1, respecto a las características de hidratación y deshidratación.

El mucílago es un polisacárido que contiene en su estructura molecular más de 30,000 diferentes azúcares, cuyo peso molecular oscila alrededor de 1378 g/mol. Esta compuesto de arabinosa 42%, xilosa 22%, galactosa 21%, ácido galacturónico 8% y ramnosa 7%, respecto a su peso molecular (Medina **et al.**, 2000).

Gomas

Son polisacáridos producidos de las exudaciones provocadas por alguna lesión física o el ataque de insectos en el nopal, y están formados por una parte de ácido galacturónico, 6 partes de L-arabinosa, 2 partes de D-xilosa, 3 partes de galactosa y trazas de L-ramnosa (Periago **et al.**, 1993).

Pectina (Figura 8)

En el nopal esta presente en (1.91%, base húmeda) y (13.84%, base seca), está compuesta por protopectina y pectina soluble (Tabla 9) (Periago **et al.**, 1993).

Tabla 9. Composición de la pectina en el nopal (g/100g de nopal)

	Base húmeda	Base seca
Protopectina	0.097	1.418
Pectina soluble	0.700	10.280

Periago **et al.**, (1993)

La pectina tiene gran importancia comercial en la industria alimentaria en la elaboración de geles mediante la adición de sales de calcio, que se utilizan para elaborar productos lácteos, confitería, etc., de buena calidad, de ahí que el nopal se considere como una muy buena alternativa como fuente de extracción de este compuesto.

Celulosa, hemicelulosa y lignina

Ben, (1987) reportó en cladodios de *Opuntia* spp. un contenido de celulosa del 11%, hemicelulosa 8% y lignina 3.9%. Por otro lado, Malainine **et al.** (2003) encontró un contenido de celulosa del 21.6% y lignina del 3.6%, pero no diferenció entre la cantidad de celulosa hemicelulosa.

Flavonoides

Los flavonoides son productos metabólicos producidos en todas las plantas de pigmentos verdes. Ha sido reportada una gran variedad de flavonoides en cactus de *Opuntia*, los contenidos varían de acuerdo con la variedad, tipo de tejido y estado de madurez.

De acuerdo a lo reportado por Kuti. (2004) en las especies de *Opuntia ficus-indica* (tejido color verde), *O. lindheimeri* (tejido púrpura), *O. streptacantha* (tejido rojo) y *O. stricta* var. *stricta* (tejido amarillo), la quercetina (**Figura 9**) es el compuesto antioxidante más abundante. El kaempferol (**Figura 10**) se encontró en los tejidos de color verde, así como en los de color púrpura y amarillo; mientras que la isorhamnetina (**Figura 11**) fue encontrada en las variedades de los tejidos verdes y púrpura.

Se ha encontrado que las cactáceas producen flavonol 3-O-glicosidos (quercetina, kaempferol e isorhamnetina), dihidroflavonoles, flavanones y flavanonoles. Los flavonoides se encuentran en las cactáceas en las flores, tallo, espinas, y en una cantidad limitada en tejidos de raíces (Wallace, 1986).

De las flores de las plantas del género *Opuntia* se han aislado flavonoides tales como isorhamnetina, hiperina, narcisina, 3-rutinosido y 3-rhamnogalactósido. También se han encontrado trazas de antocianinas en *Opuntia ficus indica*.

Casi todos los reportes de flavonoides encontrados en cactus de *Opuntia* se han obtenido mediante la extracción de tejidos florales. Sin embargo, la información de la composición de flavonoides y actividad antioxidante de diferentes frutas y variedades de cactus aún es muy escasa.

Vitaminas, Carotenos y Clorofila

En cladodios de *Opuntia spp*, en 100g de peso fresco, el contenido de vitamina C total (ácido ascórbico y dehidroascórbico) es de 22 mg, de β -caroteno 11.3-53.5 μ g, tiamina de 0.14 mg, riboflavina 0.6 mg y niacina de 0.46 mg (Rodríguez y Cantwell, 1998; Teles et al., 1994). Una investigación sobre el perfil de carotenos en cladodios frescos determinó la presencia de α -criptoxantina (20%), β -caroteno (36%) y luteína (44%), de un total de 229 μ g/g peso seco, observando que el contenido incrementa al aumentar el tratamiento térmico (Jaramillo et al., 2003). Se ha determinado que la luteína es típica de los vegetales verdes (Huck et al., 2000).

En los cladodios fue reportado el contenido de clorofila total, 12.5 mg/100 g de peso fresco. Donde la concentración de la clorofila *a* es de 9.5 mg y el contenido de la clorofila *b* es de 3.0 mg.

1.3.4 Producción

Especies y variedades

Se sabe que gran parte de las especies del nopal, silvestres o cultivadas son aptas para consumo como verdura fresca; este tipo de verdura corresponde a nopal tierno producido en diferentes épocas del año, sobre todo en la de lluvias. México es el país en donde existe la más amplia diversidad de nopales,

ya sea silvestre o cultivado, esto significa que se obtiene una gran variedad de nopales en el mercado. Entre las variedades utilizadas para verdura pueden ser Criolla tipo Italiana, Criolla, Tlaconopal, de excelente calidad se tienen: Atlixco, Copena y Milpa Alta.

Para que sea aceptada esta variedad de nopal verdura se tiene que basar en preferencias regionales en el norte y el altiplano, el nopal criollo y los provenientes de nopaleras silvestres son los más aceptados, el nopal tapón (*Opuntia robusta*) es buscado por su sabor, mientras que en el centro el consumo se inclina preferentemente por nopal de tipo Italiano, Copena y Milpa Alta.

Zonas productoras

Las principales zonas de producción del país se localizan en nueve estados de la república que son: Aguascalientes, Baja California, Distrito Federal, Jalisco, Oaxaca, Michoacán, Puebla, San Luis Potosí y Zacatecas.

El área de producción más importante es el Distrito Federal, específicamente la región de Milpa Alta (*imagen 1*), la cual ocupa el 68% de la superficie y el 80% del volumen de la producción nacional, siguiéndole en orden de importancia San Luis Potosí con el 8% y Oaxaca con el 4%. Estas tres entidades junto con Michoacán y Jalisco, representan el 98% de la producción total.

Superficie establecida

La utilización del nopal dentro de la alimentación de la población se torna al consumo de fruta como es de pencas tiernas, conocidas popularmente como “nopalitos”, por lo que, además del aprovechamiento del nopal silvestre, existen superficies dedicadas exclusivamente a la producción de nopal verdura, que ha cobrado una gran importancia en los últimos años. La explotación de nopal verdura se realiza en una extensión de 5,134ha, de las cuales se estima que un 10% son explotaciones tecnificadas.

La producción anual del nopal verdura asciende a 204,738 ton y el rendimiento promedio es del orden de 36.3 toneladas por hectáreas, mismo que es susceptible de llevarse con la incorporación de técnicas apropiadas.

La potencialidad del nopal verdura es muy amplia, toda vez que la demanda es creciente y que nuestro país presenta una variada de condiciones para el cultivo y desarrollo.

Tabla 10. Superficie cultivada con nopal verdura por entidad federativa.

Entidad Federativa	Superficie cultivada Ha.
DF.	7,500
Morelos	450
Puebla	400
Michoacán	318
Guanajuato	280
Baja California	150
Jalisco	120
Oaxaca	100

Fuente: Investigación directa con representantes del SARH en los estados y productores 1992

1.3.5 Oferta y Demanda

El nopal verdura, su oferta es considerablemente amplia en casi todo el año, aunque disminuye un poco en los meses de invierno. Esta oferta esta

constituida básicamente por la producción de las áreas cultivadas, dado el aprovechamiento de las áreas silvestres. La demanda de nopal como producto comestible se ha venido incrementando. El consumo per. cápita durante 1978-1990 aumentó de 122 kg a 1.6 Ton De manera general, la demanda se intensifica durante el periodo de Cuaresma.

Respecto a la demanda internacional, que se concentra en los Estados Unidos de Norteamérica, es el resultado de la corriente del naturismo en los rubros de alimentación y productos medicinales, ya que estos países han desarrollado una serie de productos industrializados a partir del nopal, sin embargo, la demanda externa es aún sensiblemente inferior a la demanda nacional.

1.3.6 Comercialización

El método utilizado para comercializar el nopal verdura se inicia a pie de huerta en entregar el producto debidamente empacado a los comisionistas en plaza, para que lo vendan al intermediario y posteriormente éstos al consumidor.

Los márgenes de comercialización del nopal, en sus diferentes formas de aprovechamiento, son muy fluctuantes, ya que guardan una relación directa con la estacionalidad de la producción y el nivel de intermediarismo, con lo que se deduce que estos fenómenos son los que determinan que los mayores beneficios se queden en la comercialización más que en la producción del nopal. Los principales mercados del nopal verdura en el país son: Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla, San Luís Potosí, Cuernavaca, Morelia, Torreón y Guanajuato.

1.3.7 Usos y Propiedades

Usos tradicionales

En la antigüedad el jugo de las pencas era extraído y untado a las ruedas de los carros, esto servía para impedir que se quemaran por el uso excesivo que se les tenía. Durante los siglos XVII Y XVIII, los franciscanos descubrieron que las cactáceas eran útiles por el fruto y el mucílago, ya que este les servía como

ligamento a los adobes en las construcciones de las misiones. El nopal verdura es destinado principalmente al consumo humano, ya sea en fresco, como ensaladas, en la preparación de diferentes platillos, o bien envasados en salmuera, vinagre o en mermelada. Como alimento, tiene una gran aceptación por su bajo costo, así mismo por las propiedades funcionales presentes en el, como la digestibilidad fácil en el organismo.

Usos potenciales.

En años recientes se inicio la comercialización del nopal como fibra deshidratada para ayudar a los trastornos digestivos, así mismo otros estudios demostraron las características del nopal como hipoglucemiante es decir controlador de azúcar en el cuerpo. Así mismo la pulpa deshidratada presenta un material fibroso cuya función medicinal se basa en favorecer el proceso digestivo, reduciendo riesgos gastrointestinales y a la obesidad. Adicionalmente, la fibra disminuye el nivel de lipoproteínas de baja densidad (que son las que se acumulan en las arterias causando problemas de arteriosclerosis). También disminuye el colesterol en la sangre al interferir en la absorción de grasas.

Actualmente, el aprovechamiento integral de los recursos viene a ser una necesidad urgente ante el desperdicio estacional que sufren éstos y la solución a las limitantes actuales de los habitantes. Entre las transformaciones que puede tener el nopal esta la elaboración de productos como champú, crema, jabones, y otros, cuya demanda ha aumentado considerablemente gracias al incremento de los patrones naturistas de consumo.

1.4 FUENTES DE FIBRA SOLUBLE

1.4.1 Inulina.

La inulina fue descubierta por el científico alemán Rose en 1804, en un extracto de agua hirviendo de raíces de la *Inula Helenium*. La inulina pertenece a los hidratos de carbono de origen natural conocidos como oligosacáridos no digeribles y se producen naturalmente en muchas plantas. Después de la celulosa y el almidón, éstos son los hidratos de carbono más abundantes

encontrados en la naturaleza (Carpita et al., 1989; Marchetti, 1993). La Inulina se describe como un fructooligosacarido con un grado de polimerización de 20 a 60 monómeros de fructosa

La inulina se clasifica bajo una clase general de polímeros de fructosa conocidos como fructanos. La inulina extraída de la achicoria es un carbohidrato natural poli disperso (Robertfroid y Delzenne. 1993). Este es un fructano que consiste predominantemente de cadenas lineales de unidades de fructosa. Actualmente la inulina es extraída industrialmente de la raíz de la chicoria, aunque también se extrae de la raíz de las dalias y alcachofas de Jerusalén. Es un constituyente natural de vegetales y cereales como la cebolla, ajo, puerro, espárragos y trigo. L

Los enlaces β -(1-2) y β -(2-6) que forman la inulina son resistentes a las enzimas digestivas de los mamíferos, así como a las disacaridasas (sacarasa, maltasa, isomaltasa o lactasa) de la mucosa intestinal y la α -amilasa del homogenizado pancreático (Oku et al. 1984). Por consecuencia, la inulina alcanza el colon prácticamente intacta. Los fructooligosacaridos de cadena corta tampoco son hidrolizados ni absorbidos por el intestino delgado (Tsuji et al 1986).

1.4.2. β -glucanos

β -Glucanos: Son polímeros de glucosa que contienen ambos enlaces (β 1 \rightarrow 3 y β 1 \rightarrow 4) en varias proporciones, dependiendo de la fuente, la cual hace a la molécula menos lineal que la celulosa y más soluble en agua.

Los beta-glucanos son moléculas que tienen la propiedad de estimular intensamente el sistema inmunitario. Los beta-glucanos que se extraen de varias fuentes la principal es: De las paredes celulares de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* con una concentración del 70% de beta-glucanos. De las setas con propiedades medicinales Shiitake y Maitake, con una concentración del 30% como mínimo de lentinan, fuente natural de beta-glucanos (polisacáridos). De los cereales como la avena y el maíz.

Contribuye a reducir el colesterol y potencia el sistema inmunitario

Colesterol. Los betaglucanos actúan estimulando los macrófagos del organismo capaces de reducir en pocas semanas la cantidad de colesterol (LDL) en la sangre, además de eliminar la placa arteriosclerótica formada.

Sistema inmunitario. Las personas con un sistema inmunitario debilitado, afectadas repetidamente por catarros, gripes, neumonías o infecciones intestinales, al incluir los betaglucanos en su dieta habitual, aumentan las defensas del organismo.

Anticancerígeno. Se ha comprobado científicamente que los betaglucanos previenen en gran medida la aparición y el desarrollo de tumores cancerígenos.

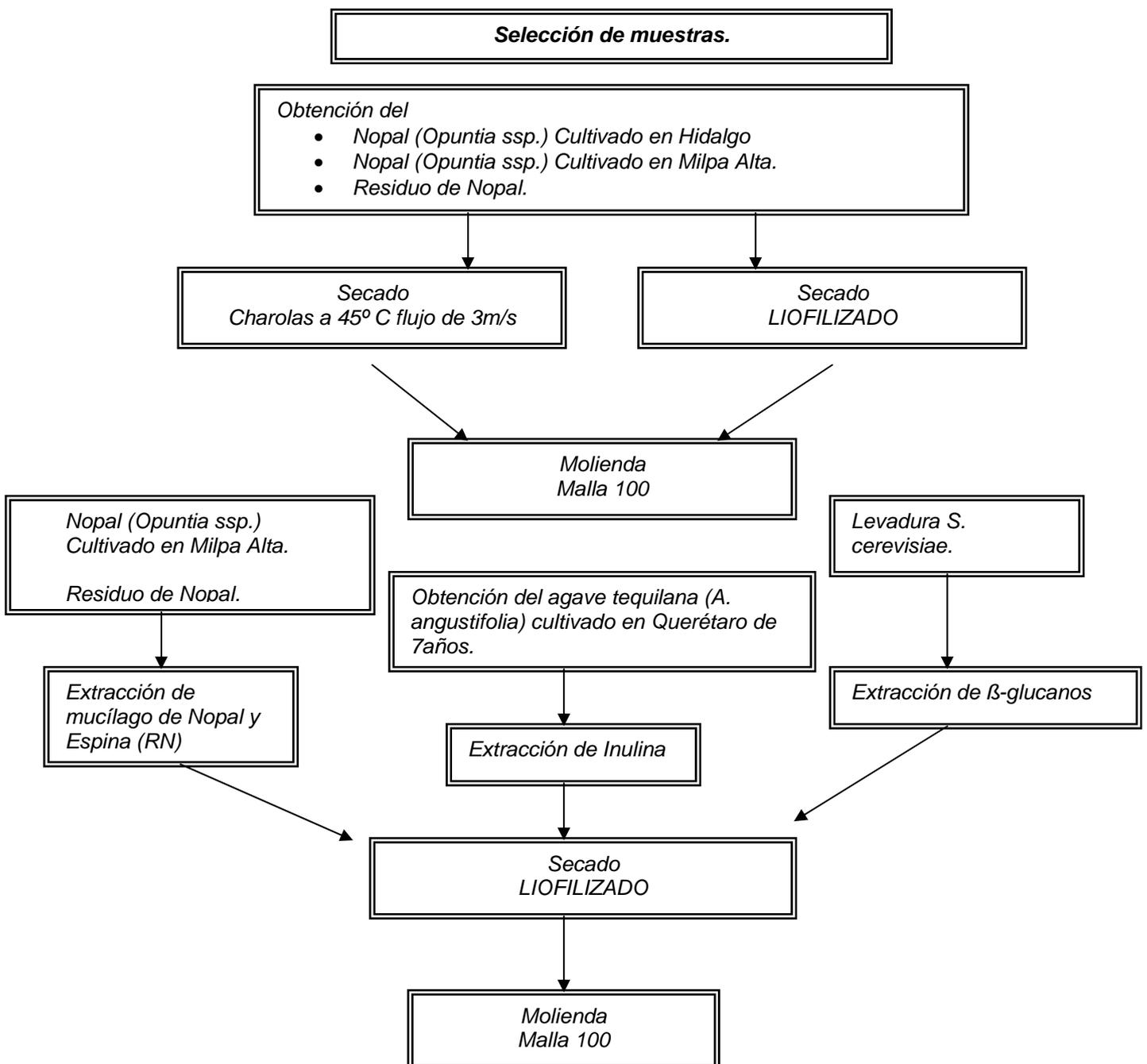
Antioxidante. Los betaglucanos se han demostrado excelentes antioxidantes, beneficiosos para la salud de las células atacadas por los radicales libres.

CAPITULO II
METODOLOGIA

2.1 DIAGRAMA GENERAL DE LA INVESTIGACION.

- ❖ El trabajo se realizó en cuatro etapas. En la primera etapa se realizó una investigación bibliográfica, así como la obtención de las muestras; se obtuvieron los polvos de Nopal cultivado en Hidalgo, Nopal y Espina cultivado en Milpa Alta, así como las diferentes fuentes de fibra soluble que fueron utilizadas.

PRIMERA ETAPA



- ❖ En la segunda etapa se realizaron las formulaciones con las cuales se trabajo. Estas formulaciones se realizaron con base en la investigación bibliográfica realizada.

SEGUNDA ETAPA

FORMULACIONES.
 Con base en
 $2FI+FS=FT$

$FS_N+FI_N+FS_{Es}+FI_{Es}= FT$

Donde

FS_N = Fibra Soluble nopal

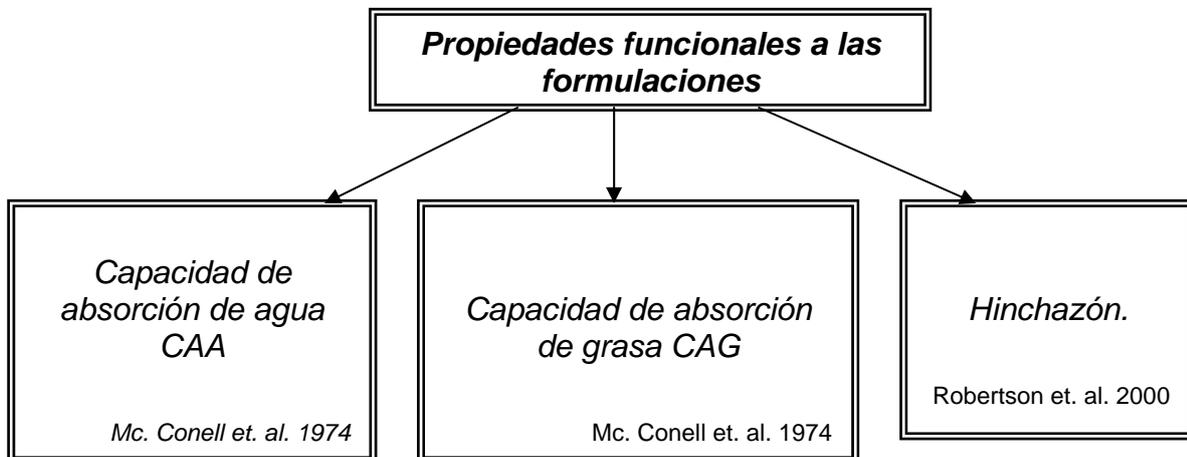
FI_N = Fibra Insoluble nopal

FS_{Es} = Fibra Soluble espina

FI_{Es} = Fibra Insoluble espina

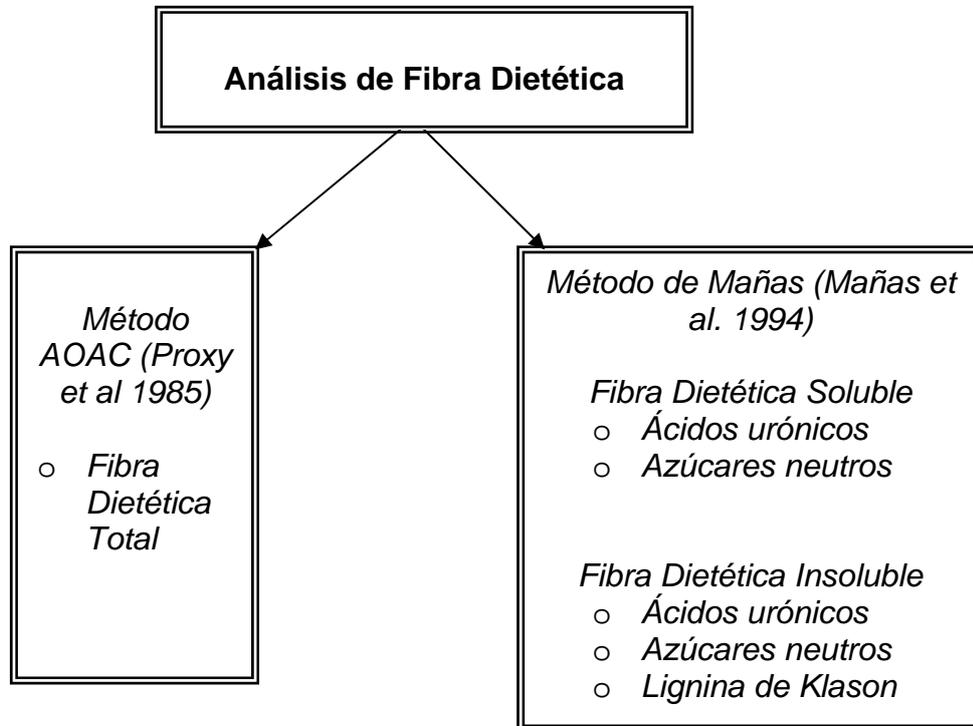
- ❖ En la tercera etapa se realizo el análisis de las propiedades funcionales a las formulaciones obtenidas

TERCERA ETAPA



- ❖ En la cuarta etapa se realizó la cuantificación de fibra dietética total por el método del AOAC así como por separado de fibra soluble e insoluble por el método de Mañas.

CUARTA ETAPA



2.2 METODOLOGIA:

2.2.1 PRIMERA PARTE: Obtención de Muestras.

2.2.1.1. Investigación bibliográfica.

Se realizó un estudio bibliográfico para saber el contenido de fibra soluble e insoluble presente en el nopal y en el residuo del nopal (espina), así como la cantidad de fibra que se encuentra en las fibras adicionadas a las formulaciones (inulina y β -glucanos).

En la investigación bibliográfica del nopal y residuo se basó en los resultados obtenidos de experimentos realizados en el laboratorio. (Cadena, 2006)

2.2.1.2. Selección de las muestras.

- a) Nopal cultivado en Milpa Alta, se utilizó el de esta zona ya que es uno de los productores nacionales más importantes del nopal, además el de esta procedencia es el más consumido en el país.
- b) Nopal cultivado en el estado de Hidalgo, se utilizó esta muestra ya que se cree que tiene las mismas características de los cultivados en el municipio de Milpa Alta. Estas dos variedades de nopal difieren entre si por todos los factores que intervienen en la región geográfica de cultivo y se estima que éstos influyen en la composición química (proporción y propiedades) de la fibra dietética total.
- c) Agave Tequilana cultivado en el estado de Querétaro, se utilizó este agave debido a estudios previos determinaron que las piñas con la edad de 7a 10 años de edad contiene aprox. 25% de inulina (Guzmán 2006)
- d) Levadura *S. cerevisiae*, esta fue utilizada para la extracción de los beta-glucanos.

2.2.1.3. Extracción de las fracciones solubles.

En esta primera etapa también se realizó la extracción del mucílago del nopal, residuo de nopal (espinas), de inulina y de beta-glucanos.

2.2.1.3.1. *Extracción del mucílago del nopal*; esta se realizó por medio de una extracción con acetona, donde el nopal fue molido en licuadora, sin agua, hasta obtener una mezcla homogénea, se centrifugó (BECKMAN J2-MC CENTRIFUGE) a 11,000 rpm durante 15 minutos a 4° C, del sobrenadante se midió el volumen para conocer la cantidad de acetona añadida. Se añadió acetona en una relación 2:1 y posteriormente se evaporó en un rotavapor (BUCHI CON BAÑO B490) para ser secada por el método de liofilizado. Este mismo procedimiento se realizó para obtener el mucílago del residuo del nopal (espina).

2.2.1.3.2. *Extracción de β -glucanos*; la extracción se llevó por dos métodos, siguiendo el método de recuperación de beta-glucanos y nano proteínas obtenidas de **S. cerevisiae**. Lo primero que se realizó fue activar la levadura con agua estéril para poder inocular el medio YM previamente preparado y esterilizado. Después de inocular se incubó en una agitadora orbital (*LAB line*)

por 24 hrs. con agitación a 200 rpm a una temperatura de 36° C, esto se realizó para los dos métodos. Después de obtener la biomasa, se siguió el método con NaOH, donde pasado el tiempo se centrifugó (BECKMAN J2-MC *CENTRIFUGE*) a 10,000 rpm durante 12min, eliminando el sobrenadante y lavando con agua destilada, para volver a centrifugar a 10,000 rpm durante 5min, después de lavar se resuspendió con NaOH al 4% calentando a 100° C y agitando durante 1hr. Al termino del tiempo se centrifugó a 2000 rpm durante 15 minutos, para volver a resuspender en NaOH al 3% y calentar a 74° C con agitación constante durante 3hrs, al termino de este tiempo se dejó en reposo durante 16 hrs., al concluir el tiempo de reposo se centrifugó nuevamente a 2000 rpm durante 15min y se resuspendió una vez mas con NaOH al 3% agitando 1hr a 75° C; al finalizar el tiempo se lavó 3 veces con agua destilada, después con alcohol deshidratado y se volvió a centrifugar para lavarlo 2 veces con éter deshidratado, se dejó secar en la estufa a 37° C durante 12hrs.

La extracción de β -glucanos con acido acético al .5M, se realizó calentando el acido acético con la biomasa durante 3hrs a 90° C en reflujo, pasado el tiempo se centrifugo a 5000 rpm durante 20 min. Después se lavo con agua estéril, se centrifugo para volver a lavar con alcohol anhídrido, se volvió a centrifugar para lavar dos veces con éter, al término de los lavados se centrifugó y se dejó secar durante 12hrs. A 37° C.

2.2.1.3.3. *Extracción de inulina*; llevó por medio del desfibrado del agave con el fin de obtener un tamaño de partícula mas pequeño y fácil manipular, después de realizar el desfibrado se colocaron las tiras del agave en una olla con agua, fueron calentadas en una parrilla durante 8 hrs. a 80° C, cuando finalizó el tiempo, se dejó enfriar para poder filtrar, el bagazo fue comprimido recuperando la mayor cantidad de agua. El agua fue secada por liofilización hasta la obtención de un polvo fino de color blanco altamente higroscópico.

2.2.1.4. Obtención de polvos

Al finalizar las extracciones se realizó la obtención de los polvos mediante las operaciones de secado, molienda y tamizado.

a. Secado.

Se obtuvieron polvos de nopal sin espina, nopal con espina y residuo de nopal (espina). Una vez teniendo separadas las muestras se introdujeron en vasos de 250ml para liofilizadora, se tapó y sometió a congelación (-70° C) en un ultra congelador (*HARRIS*). Se mantuvieron a baja temperatura hasta que la muestra se congelara totalmente. Los lotes se secaron en una liofilizadora (*LABCONCO FREE DRYER SYSTEM*) hasta obtener la muestra totalmente seca, generalmente este procedimiento tardó 36hrs.

Por otra parte se realizó el secado del nopal sin espina por secado de charolas con las condiciones de 45° C a un flujo de aire de 3m/s.

b. Molienda

Finalmente los lotes secos se molieron en una licuadora y pulverizaron en un mortero, hasta que quedaron perfectamente pulverizados.

c. Tamizado

Al tener las muestras pulverizadas fueron sometidas al tamizado utilizando tamices del 80 al 100. Las muestras utilizadas para trabajar fueron las que quedaron en la malla número 100.

2.2.2. SEGUNDA PARTE: Elaboración de Formulaciones.

La segunda parte fue la elaboración de formulaciones conforme a la investigación bibliográfica de los valores de fibra soluble e insoluble de los polvos obtenidos. Las formulaciones se realizaron mediante la siguiente ecuación.

$$FS_N + FI_N + FS_E + FI_E = FT_F$$

Dicha ecuación se utilizó para establecer la relación fibra soluble/insoluble de cada formulación.

En la tabla 11. Se muestra las formulaciones ensayadas.

Tabla 11. Formulaciones empleadas.

<i>Formulación 1</i>	5g Nopal y 5g Residuo Nopal
<i>Formulación 2</i>	8g Nopal y 2g Residuo Nopal
<i>Formulación 3</i>	2g Nopal y 8g Residuo Nopal
<i>Formulación 4</i>	0.1g β -glucanos y 1g Residuo Nopal
<i>Formulación 5</i>	0.5g Inulina A y 4g Residuo Nopal
<i>Formulación 6</i>	1g Inulina A y 10g Residuo Nopal
<i>Formulación 7</i>	0.1g Inulina A y 2g Residuo Nopal
<i>Formulación 8</i>	2g Mucílago N y 8g Residuo Nopal
<i>Formulación 9</i>	2g Mucílago R y 8g Residuo Nopal
<i>Formulación 10</i>	5g Nopal
<i>Formulación 11</i>	5g Nopal Hidalgo malla 100
<i>Formulación 12</i>	5g Residuo malla 90
<i>Formulación 13</i>	5g Nopal con Espina Liofilizado.

2.2.3. TERCERA PARTE: Evaluación de las propiedades funcionales.

Al tener las formulaciones listas se realizó la evaluación de las propiedades funcionales capacidad de absorción de agua, capacidad de absorción de grasa e hinchazón.

2.2.3.1. Capacidad de retención de agua CAA

Para cuantificar la cantidad de agua retenida por un peso conocido de fibra se realizó mediante la modificación del método de Mc. Conell **et al.** 1974 donde se colocó 0.45g de muestra seca en tubos de centrifuga con 25ml de agua destilada, se agitaron durante un minuto a velocidad máxima y se dejaron en reposo por 24 hrs. Después de este tiempo se centrifugó a 14, 000rpm (CENTRIFUGA BECKMAN ROTOR JA20) durante 1 hora, se eliminó el sobrenadante pesando el residuo hidratado, posteriormente el residuo se secó

en una estufa a 70° C. La capacidad de retención de agua se expresó como la cantidad de gramos de agua en gramos de muestra seca (Mc. Conell **et al.** 1974).

2.2.3.2. Capacidad de Absorción de Grasa CAG

Se determinó la cantidad de absorción de grasa colocando 1g de muestra en tubos de centrifuga, agregando 10ml de aceite de maíz, esta mezcla se agitó durante un minuto a velocidad máxima, se dejó en reposo por 24 hrs. a temperatura ambiente. Después de este tiempo se centrifugó a 11000rpm (CENTRIGUGA BECKMAN ROTOR JA20) durante 1hr. Se decantó para pesar los tubos. El contenido de grasa se determinó por diferencia de peso (Mc. Conell **et al.** 1974).

La CAG se calculó como los mL de aceite absorbidos entre los g de muestra.

2.2.3.3. Hinchazón

La propiedad de hinchazón es medida como el volumen obtenido por una masa definida de fibras cuando se obtiene el equilibrio en presencia de un exceso de solvente (generalmente agua).

El método realizado fue el siguiente, se colocaron 100 mg de fibra en una probeta y se le adicionaron 10 mL de agua destilada, se mezcló suavemente y se dejó en reposo por 18 horas a temperatura ambiente. Después de este tiempo sin retirar el agua, se registró el volumen ocupado por la fibra. La hinchazón se define como la relación del volumen ocupado por la muestra entre el peso de la muestra seca (Robertson **et al.** 2000).

2.2.4 CUARTA PARTE: Determinación de Fibra Dietética.

Se realizó la determinación de fibra dietética total por el método del AOAC (Prosky **et al** 1985) así como la determinación de fibra dietética soluble e insoluble (Mañas **et al** 1994). Estas determinaciones se realizaron solo a 4 formulaciones que son *F1*, *F11*, *F12*, *F13*; debido a que a estas formulaciones no se conoce la cantidad de fibra presente en ellas.

2.2.4.1. Determinación de Fibra Dietética Total

Se siguió el método oficial 985.29 de la AOAC para FDT en alimentos (método enzimático-gravimétrico, AOAC 1995).

A lo largo de la determinación se corrieron dos blancos con la finalidad de proporcionar datos que permitieron las correcciones pertinentes para la determinación.

Se pesó por triplicado doble 1g de muestra con una exactitud de 0.1 mg, en matraces de 400 mL. El peso de las muestras no difirió en más de 20 mg entre ellas. Se adicionaron 50 mL de buffer de fosfatos a un pH de 6 y a una concentración de 0.08M. Se midió el pH de las muestras en la solución, ajustándolo si era necesario a $\text{pH } 6 \pm 0.2$ con la solución de hidróxido de sodio (NaOH 0.275 N). Después de ajustar el pH se adiciono 0.1 ml de la solución de amilasa a cada matraz, cubriéndolos con papel aluminio para colocarlos en un baño de ebullición durante 15 min. Se agitaban suavemente cada 5min, verificando que la temperatura del matraz estuviera entre $95\text{-}100^{\circ}\text{C}$. Posteriormente se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se ajusto el pH a 7.5 ± 0.2 adicionando 10 mL de la solución de (NaOH 0.275 N), para luego agregar 0.1 mL de una solución de proteasa, [se disolvió 50 mg de proteasa/1 mL del buffer de fosfatos]. Se volvió a cubrir el matraz con papel aluminio y se colocaron en un baño a 60°C por 30min con agitación continua. Luego de esta incubación, se enfriaron los matraces a temperatura ambiente y se adicionaron 10 mL de la solución de HCl 0.325 N, ajustando el pH a 4.0 - 4.6; se adicionó 0.1 mL de la solución de amiloglucosidasa y se incubó a 60°C por 30 min. con agitación continua en una agitadora orbital (*LAB-LINE*) Al termino del tiempo se adicionaron 280 ml de etanol al 95% precalentado a 60°C (el volumen se midió antes de calentar). Y se dejo en reposo durante 1hr.

Se peso el crisol entes de humedecer y redistribuir la cama de celita en etanol al 78% aplicando succión. Los crisoles se colocan sobre un matraz kitasato para transferir cuantitativamente el precipitado de la digestión enzimática.

Se lavó el residuo con 3 porciones de 20 mL de etanol al 78%, después con 2 porciones de 10 ml de etanol al 95% y luego con 2 porciones de 10 mL de

acetona. Se secaron los crisoles conteniendo el residuo toda la noche a 70° C, se enfriaron en desecador hasta peso constante y se pesaron.

Se restó el peso del crisol con la celita para conocer el peso del residuo. Se analizó contenido de proteína por método de Kjeldahl a tres de los crisoles con muestra y a un blanco, a los otros crisoles con muestra así como al blanco restante, se les cuantificó cenizas a 520° C.

$$\%FDT = [(gRM - CPM - CCM - B) / g MI] * 100$$

Donde:

%FDT = contenido en g/100 g de FDT en la muestra

gRM = promedio del peso en gramos de los residuos obtenidos en los tres crisoles con la muestra

CPM = Promedio del contenido de proteína en g/100 g determinado en dos de los residuos de muestras

CCM = Contenido de cenizas en g/100 g obtenido para uno de los residuos de muestra

g MI = Promedio de los pesos iniciales de las muestras analizadas

B = g B - PB - CB

Donde:

B = dato obtenido de los blancos

g B = promedio del peso en gramos de los residuos obtenidos en los dos crisoles blanco

PB = contenido de proteína total en el blanco

CB = contenido de cenizas en el blanco

2.2.4.2. Determinación de Fibra Dietética Soluble y Fibra dietética Insoluble (método de Mañas)

Algunos efectos fisiológicos de la Fibra Dietética están estrechamente relacionados con la solubilidad en agua de sus componentes. Por lo tanto, la obtención de valores individuales de las fracciones soluble e insoluble nos proporciona información importante a cerca de las propiedades fisiológicas y de la composición general de la Fibra Dietética.

Las fracciones de Fibra Dietética se obtuvieron mediante una modificación del método de la AOAC, propuesta por Mañas *et al.*, 1994). Los reactivos y condiciones son las mismas que en el método de la AOAC (Lee *et al.*, 1992), ocupándose sólo la mitad de los reactivos y enzimas, ya que la experimentación se llevo a cabo en tubos de centrífuga de 40 mL. La Fibra Dietética soluble se obtuvo mediante la centrifugación (CENTRIFUGA DAMON/IEC División, Modelo 856) de la muestra a 1000 rpm durante 15 minutos, con la colecta de los sobrenadantes, donde se encuentra la Fibra Dietética Soluble la cual se obtuvo por medio de diálisis que reemplaza la precipitación alcohólica que propone la AOAC. El sobrenadante que se obtienen en la centrifugación de la Fibra Dietética Total, se dializó en bolsas para diálisis Sigma (12 000-15000 PM) por 48 h con recambios continuos de agua (cada 2 horas).

La diálisis tiene el propósito de eliminar compuestos solubles de bajo peso molecular (carbohidratos simples y aminoácidos principalmente); se determina el contenido de ácidos urónicos por un método espectrofotométrico (Bitter *et al.*, 1962) y azúcares neutros por el método de fenol-sulfúrico.

Para determinar la Fibra Dietética Insoluble, los residuos que se obtienen de la centrifugación, son sometidos a una hidrólisis secuencial con 2 mL de ácido sulfúrico 12 M (1 h, 35° C) y posteriormente se agregó 23 mL de agua destilada haciendo un efecto de dilución del ácido hasta una concentración 1 M llevándose a cabo una hidrólisis durante 2 h a 100° C.

En los hidrolizados se cuantifican ácidos urónicos y azúcares neutros de manera espectrofotométrica; los ácidos urónicos se cuantifican por el método de Bitter (Bitter *et al.*, 1962) y los azúcares neutros por método de fenol-sulfúrico. El material residual de la hidrólisis se seca a 105° C toda la noche en estufa de vacío y posteriormente se pesa y cuantifica como lignina de Klaison.

2.2.4.3. Determinación de ácidos urónicos.

Se pipeteo 5ml de borato con acido sulfúrico concentrado (previamente preparado a una concentración 0.025M) en un tubo, dejándolo enfriar a 4° C, se adiciono 1ml de muestra mezclando suavemente para poder calentar los tubos en un baño de agua hirviendo durante 10min., se enfriaron a temperatura

ambiente, para adicionar 0.2ml de carbazol y se volvió a calentar durante 15 min. a ebullición. Después de este tiempo se dejó enfriar para poder medir en un espectrofotómetro (*spectrophotometer DU-65 Beckman*) a 530 nm de absorbancia (Southgate, 1969). Se realizó una curva patrón con ácido D-galacturónico/ml de H₂O

2.2.4.4. Determinación de azúcares neutros.

Se mezcló en tubos de ensaye 1ml de la solución con 1 ml de fenol y 5 ml de ácido sulfúrico concentrado, se agitó cuidadosamente y con uniformidad para llevar a cabo la reacción, dejar en reposo durante 30 min. Después de este tiempo se midió absorbancia a 490 nm en un espectrofotómetro (*spectrophotometer DU-65 Beckman*). Se realizó una curva patrón de glucosa/ml H₂O

CAPITULOIII
RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 Contenido de Fibra Dietética

En la literatura se reporta el contenido de fibra insoluble y fibra soluble de las muestras empleadas como materia prima.

En la tabla 12 se observa la cantidad de Fibra soluble e insoluble de las muestras utilizadas.

Tabla 12. Valores de Fibra Soluble e Insoluble de las muestras en base seca.

Muestras	%Fibra Insoluble	%Fibra Soluble
Nopal	28.50	14.50
Residuo (espina)	40.98	5.48
β -glucanos	2.50	81
Inulina	0	100

El contenido de fibra en las muestras utilizadas se observa que la espina presenta valores bastante altos de fibra insoluble, por lo cual al combinarse con otra muestra la relación de fibra soluble e insoluble se mejora.

3.2 Obtención de polvos

La obtención de polvos se realizó por dos métodos de secado; liofilización y secado por charolas. El método de liofilización fue más eficiente, debido a la poca manipulación de la muestra ya que en el secado por charlas hay mayor pérdida de la muestra.

Al realizar la extracción de β -glucanos, se observa que la extracción por el método de ácido acético presenta mayor cantidad de β -glucanos extraída, debido a que no se realizan tantos lavados, por lo cual no hay pérdida de muestra.

La extracción de la inulina se realizó a 80° C debido a que con esta temperatura se alcanza un rendimiento alto (Guzmán 2006)

3.3. Cálculos de las formulaciones

Se colocó 5 g de nopal y 5 g de espina el cálculo se realizó de la siguiente manera.

$$FI.=1.4Nopal + 2.04 Espina = 3.44 FD Insoluble$$

FS.=0.72 Nopal + 0.28 Espina = 1 FD Soluble

FDT 5gN+5gE = 3.44 In.:1 S.

Por lo cual existe una relación \approx 1:3

Las formulaciones se obtuvieron realizando este cálculo para cada una de ellas, variando la cantidad de la fibra del residuo del nopal.

3. 4. Propiedades Funcionales

3.4.1. Capacidad de absorción de agua

Como se sabe el residuo del nopal presenta una relación no muy buena de fibra soluble e insoluble, pero se espera que las propiedades funcionales se vean afectadas positivamente por las características del polisacárido presente en la fibra soluble. En la tabla 13. Se muestra la CAA de las formulaciones estudiadas.

Tabla 13. Capacidad de absorción de agua de las formulaciones

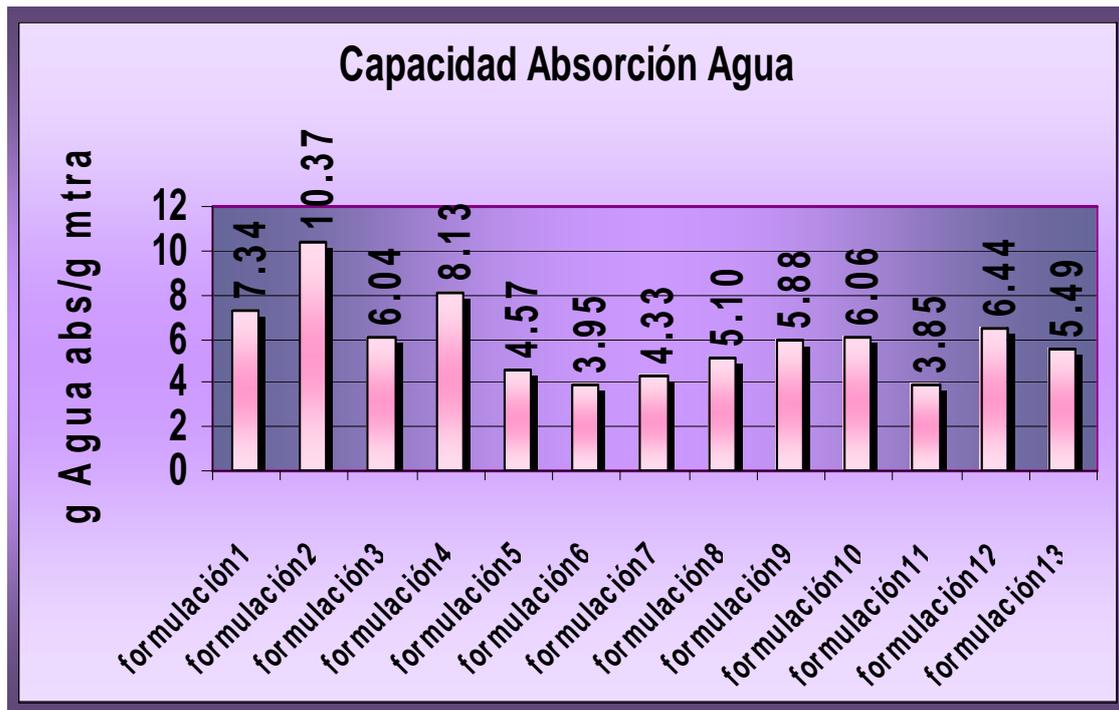
	Composición	Relación de FDS/FDI	g agua abs. /g mtra.
Formulación 1	5g Nopal y 5g Residuo Nopal	1:3	7.34+0.99
Formulación 2	8g Nopal y 2g Residuo Nopal	1:2	10.36+1.51
Formulación 3	2g Nopal y 8g Residuo Nopal	1:5	6.04\pm 0.61
Formulación 4	0.1g β -glucanos y 1g Residuo Nopal	1:3	8.13\pm 0.33
Formulación 5	0.5g Inulina A y 4g Residuo Nopal	0.7:2	4.57\pm 0.49
Formulación 6	1g Inulina A y 10g Residuo Nopal	1.5:4	3.95\pm 0.24
Formulación 7	0.1g Inulina A y 2g Residuo Nopal	0.8:1	4.33\pm 0.20
Formulación 8	2g Mucílago N y 8g Residuo Nopal	1:2	5.10\pm 0.51
Formulación 9	2g Mucílago R y 8g Residuo Nopal	1:2	5.88\pm 0.46
Formulación 10	5g Nopal	1:2	6.06\pm 0.42
Formulación 11	5g Nopal Hidalgo malla 100		3.85\pm 0.47
Formulación 12	5g Residuo malla 90	1:8	6.44\pm 0.27
Formulación 13	5g Nopal con Espina Liofilizado.		5.48\pm 0.30

Se observa que el control (Formulación 10) presenta una alta capacidad de absorción de agua con respecto a las formulaciones que contienen inulina, ya que estas presentan valores bajos, tal vez esto se deba a que esta fibra soluble no se agregó en mayor cantidad o tal vez esto se deba a que la inulina no posee los efectos físicos típicos de las fibras dietéticas solubles viscosas, por lo que la capacidad de atrapar agua dentro de la matriz no es muy buena.

Con respecto a la formulación que contiene beta-glucanos con el residuo del nopal presenta una capacidad de absorción de agua bastante alta, esto se debe al mayor contenido de Fibra Dietética Soluble presente en la formulación 0.85g. Con respecto a las formulaciones que presenta mucílago del residuo (espina) y mucílago del nopal estas son ligeramente un poco más bajas, esto quiere decir que el mucílago presenta buena propiedad de atrapar agua.

La formulación que presento menor valor con respecto al control fue la formulación 12(Nopal Hidalgo), esto se debe al bajo contenido de fibra dietética total, con esto se confirma que las características del nopal varían dependiendo de la zona de cultivo.

Con respecto a las formulaciones donde hay nopal y residuo (espina) éstas presentan una mayor capacidad de absorción, por lo cual con esto se puede decir que al ser combinados los polvos de estas fibras se ve favorecida esta propiedad, debido a la relación de fibra presente en estas formulaciones ya que son igual o casi iguales a la recomendada, también esto se debe a la cantidad de fibra soluble presente en dichas muestras, ya que la fracción soluble en gran medida es responsable de la CAA.



Si se compara el control con otros productos tabla 14, este presenta valores similares a la fibra de la manzana, pera, salvado de trigo; por lo cual este podría ser sustituto de este ultimo obteniendo productos con color y sabor. Al compararlo con otros residuo, éste presenta un valor bajo, si se hace una combinación con alguna de estas fibras, la mezcla se vería totalmente favorecida.

Tabla 14. Capacidad de retención de agua en algunos subproductos.

Subproducto	CAA (g agua/ g FD)
Residuo del procesamiento de manzana	11.7
Residuo del procesamiento de naranja	16.2
Salvado de trigo	6.6
Salvado de avena	10.0
Cáscara de piña	3.5
Fibra de manzana	6.3
Fibra de pera	6.8
Fibra de naranja	12.4
Fibra de durazno	12.6
Fibra de espárrago	11.2

Grigeldo, et al., (1999)

3.3.2. Hinchazón

El primer paso en la solubilización de los polisacáridos es la hinchazón, donde el agua entra a la estructura y separa a las macromoléculas hasta que éstas estén completamente extendidas y dispersas. (Bach Knudsen 2001). Esto puede dar lugar a la solubilización de las moléculas, pero para los polisacáridos insolubles como la celulosa se hincha pero no se solubiliza ya que la dispersión final no es posible debido a la conformación lineal y ordenada. (Thebaudin **et al.**, 1997)

En la tabla 15 se observa los valores de la Hinchazón donde se ve que la formulación 4 presenta una hinchazón mayor a todas las formulaciones, la formulación 7 presenta también un alto valor, si se compara estas dos muestras entre si se podría inferir que estos valores altos se debe a la presencia de la fibra soluble ya que contienen la misma cantidad de ésta, en la formulación 4 esta presente la inulina y en la formulación 7 los beta-glucanos, y al ser estas totalmente solubles permiten la entrada del agua a la estructura y se de el fenómeno de la hinchazón.

Se observa que el control también presenta un valor alto, por lo cual los polvos de nopal tienen la capacidad de incrementar su volumen con el agua. La formulación que presenta menor hinchazón es la formulación 9 quizá esto se deba a que la relación presente en esta es 1:1. Los valores mas cercanos al control son las formulaciones donde se encuentra inulina, esto se debe a que las moléculas de la inulina tienen la capacidad de solubilizarse.

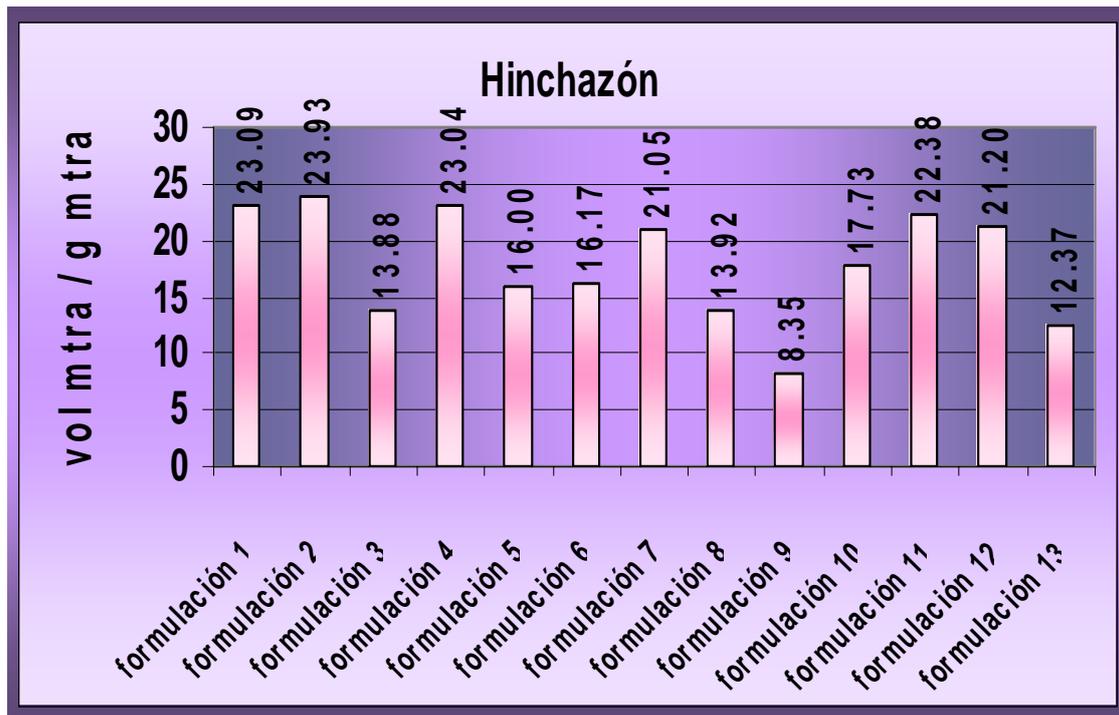


Tabla 15. Hinchazón de la fibra dietética de las formulaciones

Muestras	Composición	Relación de FDI/FDS	Hinchazón Vol. mtra. /g mtra.
Formulación 1	5g Nopal y 5g Residuo Nopal	1:3	12.18 ± 0.13
Formulación 2	8g Nopal y 2g Residuo Nopal	1:2	23.93 ± 0.24
Formulación 3	2g Nopal y 8g Residuo Nopal	1:5	13.88 ± 0.98
Formulación 4	0.1g β-gluca y 1g Residuo Nopal	1:3	23.03 ± 0.31
Formulación 5	0.5g Inulina A y 4g Residuo Nopal	0.7:2	16.00 ± 0.52
Formulación 6	1g Inulina A y 10g Residuo Nopal	1.5:4	16.17 ± 0.76
Formulación 7	0.1g Inulina A y 2g Residuo Nopal	0.8:1	21.05 ± 0.49
Formulación 8	2g Mucílago N y 8g Residuo Nopal	1:2	13.92 ± 1.11
Formulación 9	2g Mucílago R y 8g Residuo Nopal	1:2	8.35 ± 0.64
Formulación 10	5g Nopal	1:2	17.73 ± 0.37
Formulación 11	5g Nopal Hidalgo malla 100		11.19 ± 0.81
Formulación 12	5g Residuo malla 90	1:8	12.36 ± 0.53
Formulación 13	5g Nopal con Espina Liofilizado.		12.36 ± 0.38

Estas dos propiedades determinan que la fibra dietética total del residuo del nopal con otras fibras solubles ayudaran a tener un efecto fisiológico bueno y tecnológicamente hablando podría ser utilizada como en emulsiones.

3.3.3. Capacidad de absorción de grasa.

Como se sabe el residuo de nopal no tiene una buena proporción de fibra soluble e insoluble, pero el combinarlo con otras fibras, tendrá una proporción balanceada, esperando obtener valores de CAG no muy altos, considerando que la capacidad de absorción de grasa máxima para fibra insoluble en este ensayo es de 5.

Se observa que los valores obtenidos son bajos que van de valores del 2.9 a 5.4 por lo cual el residuo (espina) presenta una buena opción al utilizarse en productos con bajo contenido de grasa ayudando a que esta sea retenida.

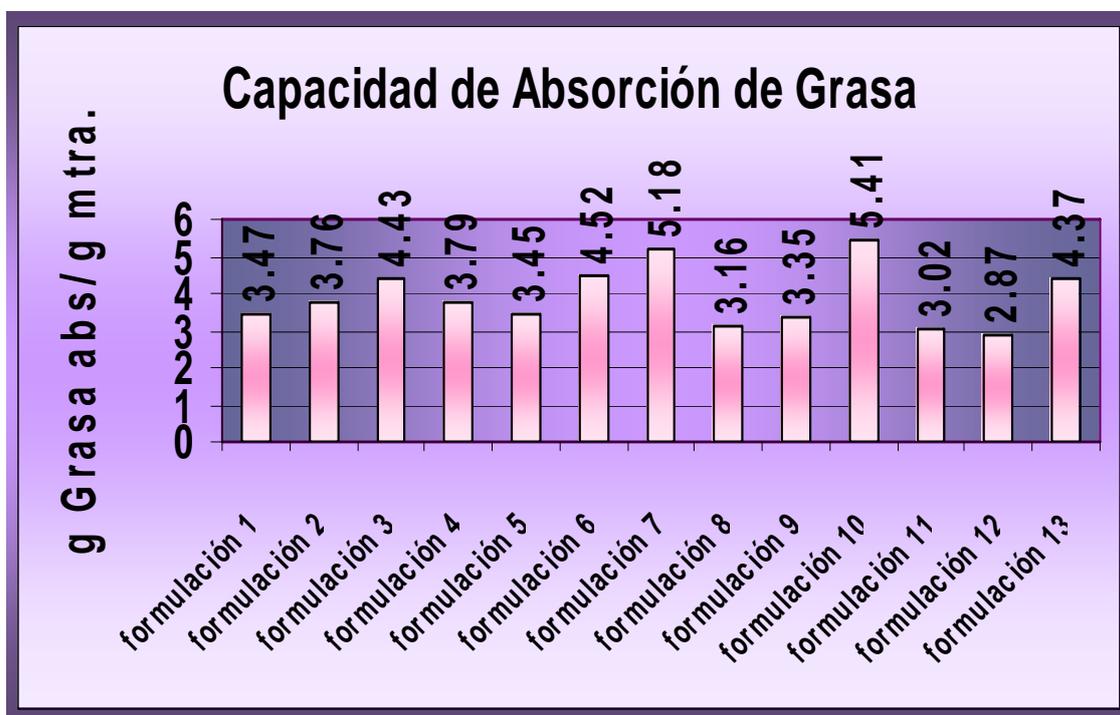
Comparando el control con otros valores reportados el valor obtenido es mayor que el del arroz cuya CAG es de $4.54 \text{ml}_{\text{aceite/gmtra}}$ (Abdul **et al.** 2000), esto se debe al contenido de fibra insoluble presente en el nopal, recordando que esta fibra puede retener mas de cinco veces su masa en aceite.

Tabla 16. Capacidad de absorción de grasa de la fibra dietética de las formulaciones

Muestras	Composición	Relación de FDI/FDS	g grasa abs. / g mtra.
Formulación 1	<i>5g Nopal y 5g Residuo Nopal</i>	1:3	3.47± 1.00
Formulación 2	<i>8g Nopal y 2g Residuo Nopal</i>	1:2	3.76± 1.08
Formulación 3	<i>2g Nopal y 8g Residuo Nopal</i>	1:5	4.43± 0.03
Formulación 4	<i>0.1g β-gluca y 1g Residuo Nopal</i>	1:3	3.79± 0.65
Formulación 5	<i>0.5g Inulina A y 4g Residuo Nopal</i>	0.7:2	3.45± 0.80
Formulación 6	<i>1g Inulina A y 10g Residuo Nopal</i>	1.5:4	4.52± 0.36
Formulación 7	<i>0.1g Inulina A y 2g Residuo Nopal</i>	0.8:1	5.18± 0.36
Formulación 8	<i>2g Mucílago N y 8g Residuo Nopal</i>	1:2	3.10± 0.47
Formulación 9	<i>2g Mucílago R y 8g Residuo Nopal</i>	1:2	3.35± 0.85
Formulación 10	<i>5g Nopal</i>	1:2	5.41± 2.89
Formulación 11	<i>5g Nopal Hidalgo malla 100</i>		3.02± 0.11
Formulación 12	<i>5g Residuo malla 90</i>	1:8	2.87± 0.45
Formulación 13	<i>5g Nopal con Espina Liofilizado.</i>		4.37± 0.49

Si se compara con la fibra del arroz, éste posee un mayor contenido de Fibra Insoluble que la de los cítricos ya que la relación de insoluble/soluble es de 11.1 (Abdul. 2000), y la del nopal es de 6.05 (Cadena, 2006) en consecuencia la fibra dietética del nopal al tener una menor proporción de fracción insoluble posee una baja capacidad de retención de grasa comparada con la del arroz. Esto se debe al efecto fisiológico de retención de grasas que realiza la fibra insoluble evitando la absorción y brindando la disminución de triglicéridos en sangre. Es por eso que los valores donde se encuentra el residuo con fibras solubles son menores ya que al ser combinado con otras fibras solubles la proporción de insoluble disminuye, entonces posee una baja capacidad de absorción de grasa comparada con la fibra otros cereales. Esta propiedad es utilizada para disminuir la pérdida de grasa durante el cocimiento como lo es en los productos cárnicos, por lo cual es benéfico para la retención de sabor

(Thebaudin **et al**, 1997). Por lo tanto las combinaciones del residuo con otras fibras podrían funcionar en alimentos con bajo contenido de grasa ayudando a que sea retenida.



3.5. Determinación de Fibra Dietética Total

Como se sabe existen varios métodos para determinar Fibra Dietética desarrollados en las últimas décadas. Actualmente los mas usados son dos el método oficial del AOAC de Prox et, al.1985 Y el descrito por Mañas y Saura et, al. 1994, que propone la modificación del método oficial, debido al error asociado con el procedimiento analítico.

Tabla 17. Comparación de los métodos para determinar fibra dietética.

Muestra	FDT AOAC	FDT MAÑAS.
Nopal Hidalgo malla 100	29.72 \pm 0.32	33.02 \pm 0.25
Residuo malla 90	45.41 \pm 0.62	43.34 \pm 0.45
Nopal c Espina Liofilizado	31.96 \pm 1.25	38.46 \pm 0.58
Formulación 1 5gN y 5gRN	41.18 \pm 0.15	41.37 \pm 0.89
Nopal	32.07 \pm 0.79	34.80 \pm 0.48

Se observa en la tabla 17 de acuerdo a los resultados obtenidos por el método oficial y el método de Mañas, el residuo del nopal presenta un mayor contenido de fibra dietética total por el método del AOAC con respecto a las demás muestras; los valores de fibra dietética total obtenidos por el método de Mañas son mayores que los valores de fibra dietética total obtenidos por el método del AOAC, esto tal vez se deba a los errores asociados a este método como lo es el error de la precipitación etanólica de la fracción soluble, los problemas asociados son co-precipitación de componentes no fibrosos y precipitación incompleta de la fibra soluble, es por esto se realiza la diálisis en lugar de la precipitación alcohólica se obtienen valores mas confiables ya que aporta valores individuales de fibra soluble y fibra insoluble(Mañas **et al**, 1994)

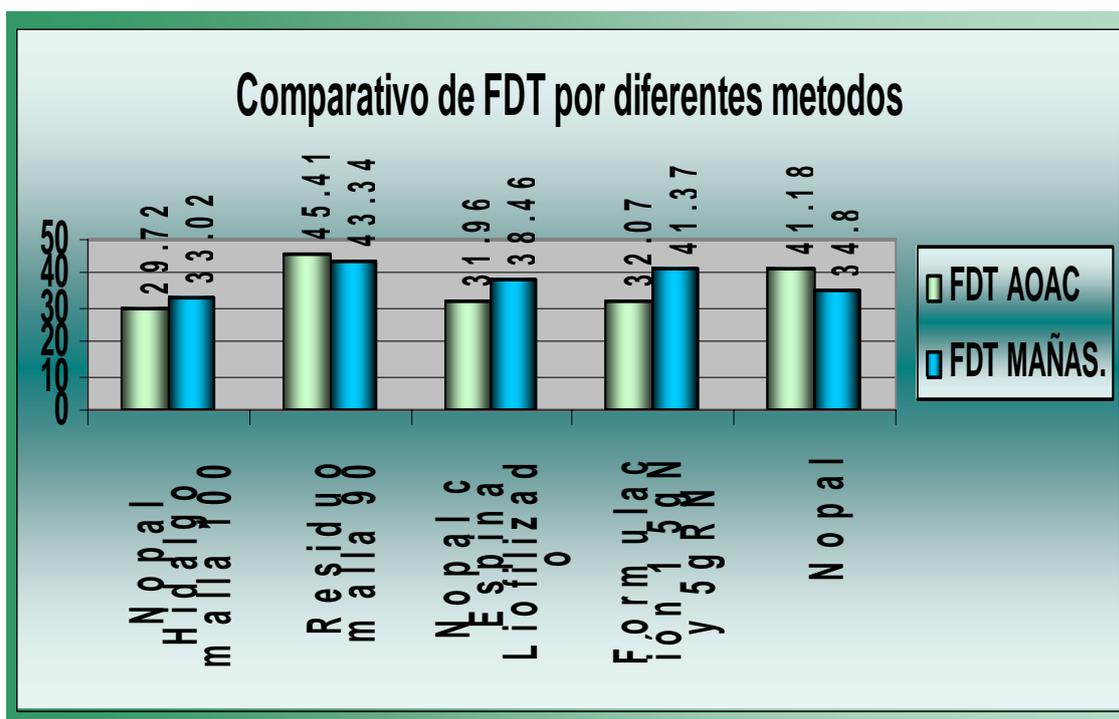
Con esto se puede explicar los valores mayores de fibra dietética total obtenidos por el método de Mañas ya que es más exacto al cuantificar por separado (ácidos urónicos, azúcares neutros y lignina) obteniendo información acerca de la composición de la fibra. Como los polisacáridos tienen la habilidad de retener muchos compuestos orgánicos e inorgánicos. Factores como la retención y la co-precipitación, así como la propagación de errores causados por las correcciones realizadas los residuos gravimetricos, pueden explicar los valores inexactos de fibra dietética obtenidos por medio a la cuantificación gavimetrica (Mañas **et al.**, 1994)

El valor obtenido de Fibra dietética del residuo del nopal por el método del AOAC es ligeramente mas alto (45.41) si se compara con los reportados por el mismo método en base seca para el nopal (43), el jitomate (18.3), espinaca (28.2), acelga (26.0), cilantro (30.0), berros (37.1) y apio (29.6) (Rosado et. al,1993) así como el de los subproductos de frutas como lo es la pera (36.1), naranja (37.87) durazno (35.8). (Grigelmo et. al., 1999; Periago et al., 1993), confirmando que el nopal es uno de los productos con mayor cantidad de fibra dietética.

Tabla 18. Contenido de fibra dietética total en vegetales y concentrados de FD provenientes de subproductos agrícolas (g/100g, base seca)

Fuente	FDT g/100g
Nopal	43.0
Jitomate	18.3
Espinaca	28.2
Acelga	26.0
Cilantro	30.0
Berro	37.17
Apio	29.68
FD pera	36.1
FD naranja	37.8
FD durazno	35.8
Salvado de avena	23.8

Grigelmo et al., (1999); Periago et al., (1993)



3.6 Determinación de Fibra soluble e insoluble.

En el análisis de las fracciones de fibra dietética soluble y fibra dietética insoluble es posible hacer caracterización general de los componentes de cada muestra. Se realizó el análisis de azúcares neutros y ácidos urónicos para ambas fracciones.

Los Azúcares Neutros indican la presencia de hemicelulosa soluble en la fracción de Fibra Dietética Soluble, en la fracción de Fibra Dietética Insoluble refleja el contenido de celulosa y hemicelulosa insoluble. Los Ácidos Urónicos proporciona la información sobre el contenido de pectinas y mucílagos (gomas) en la Fibra Soluble tanto que en la Fibra Insoluble proporciona la presencia de hemicelulosa asociada a lignina con residuos laterales en la cadena de ácido glucurónico.

Como se observa en la fracción insoluble es mayoritaria y los componentes más abundantes son los azúcares neutros los cuales representan 9.2-11.8% de la fibra dietética total, en la formulación 1 no se observa el mismo caso, sin embargo no existe diferencia significativa entre las formulaciones. Tabla 19.

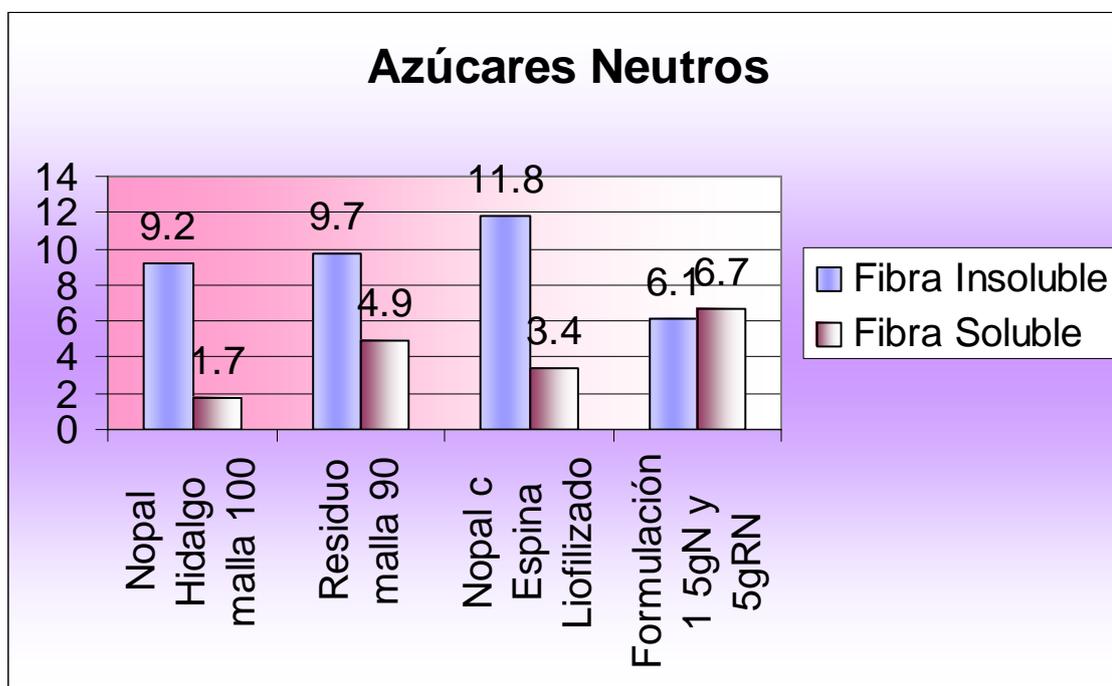
Tabla 19. Análisis composicional de fibra dietética en g/100g mtra.

	Fibra soluble			Fibra Insoluble			
	Azúcares Neutros (Hemicelulosa soluble, pectina)	Ácidos Urónicos (pectina)	Fibra Soluble Total	Azúcares Neutros (celulosa)	Ácidos urónicos (hemicelulosa insoluble)	Lignina	Fibra Insoluble Total
<i>Nopal Hidalgo malla 100</i>	1.7 ^a	1.6 ^a	3.3	6.1 ^a	5.6 ^a	14.92	29.72
<i>Residuo malla 90</i>	4.9 ^{bc}	4.7 ^c	5.6	9.7 ^b	9.6 ^a	14.44	33.74
<i>Nopal c Espina Liofilizado</i>	3.4 ^{ab}	3.1 ^b	6.5	11.8 ^c	6.2 ^a	13.96	21.96
<i>Formulación 1 5gN y 5gRN</i>	6.7 ^c	5.6 ^c	12.3	9.2 ^b	8.9 ^a	14.07	29.07

^{a, b, c} En una misma columna aquellos valores medios que no tengan superíndices iguales, son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

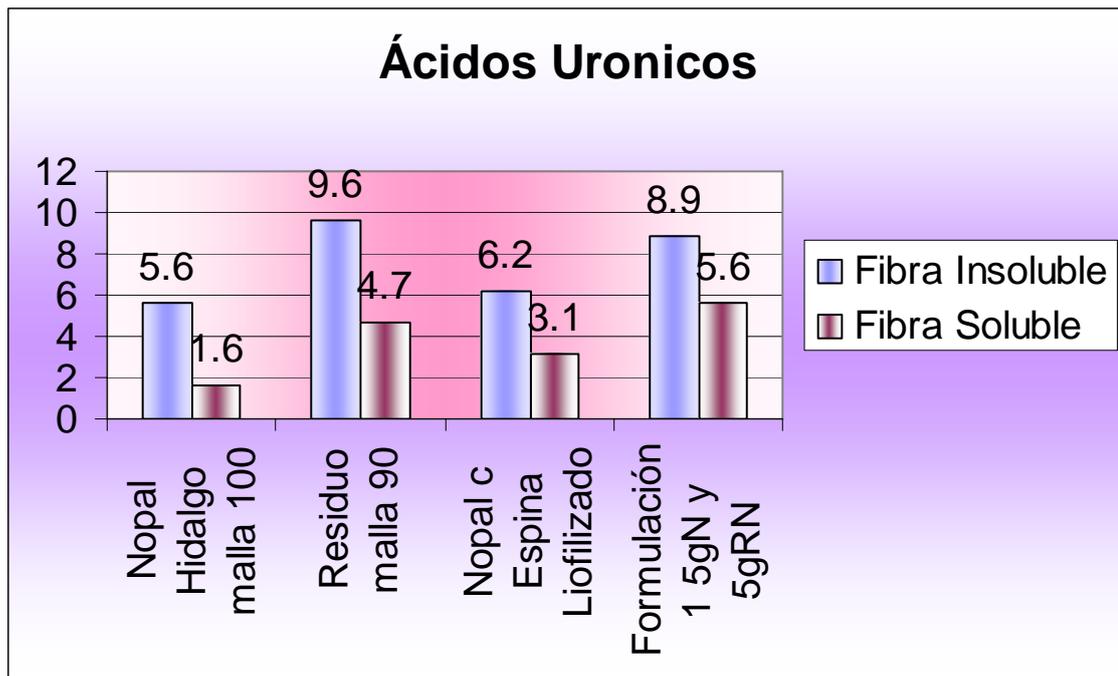
Los valores altos de los azúcares neutros en las muestras de nopal con espina, residuo de nopal y nopal de hidalgo se deben al enriquecimiento en celulosa presente en la composición de las espinas, las cuales están constituidas por celulosa en un 49% cuyos azúcares son unidades de glucosa (Malainine et al, 2003).

La fracción soluble de las formulaciones presenta un valor un poco mas alto en azúcares neutros que en ácidos urónicos, lo cual indica una baja proporción de pectinas.

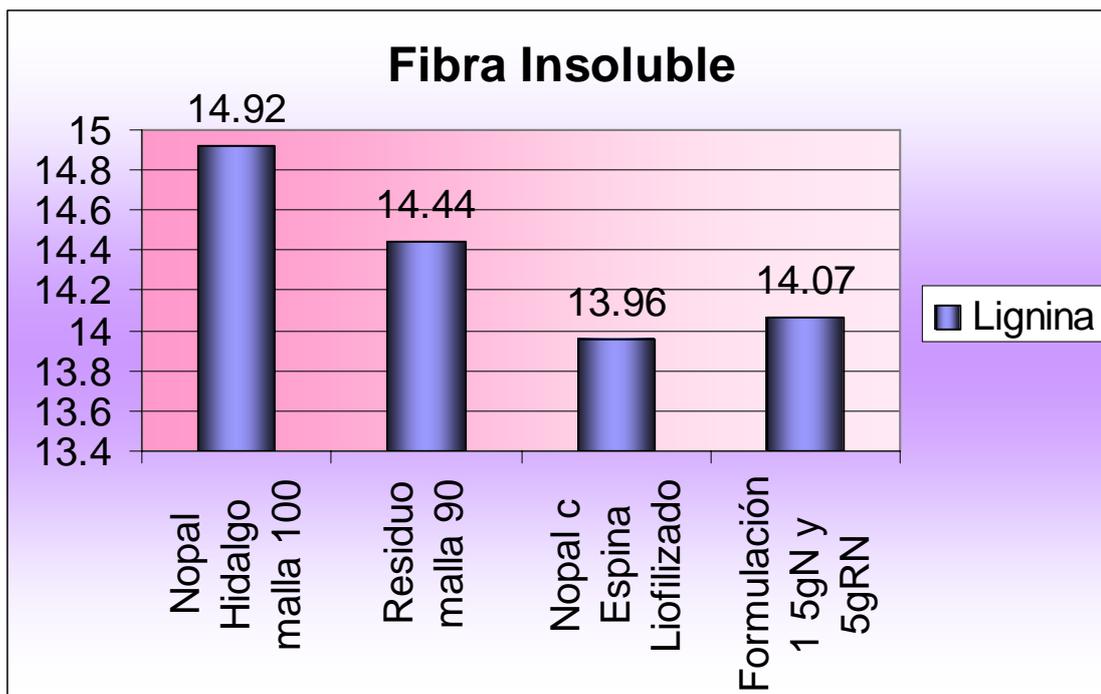


Como el nopal completo o en polvo es rico en fibra, este forma un mucílago al ser hidratado, es por eso que es importante el análisis de éste como componente principal de la Fibra Soluble. Se observa que principalmente esta compuesto por hemicelulosas y polisacáridos, en contraste con una baja proporción de pectinas y por la naturaleza de la muestra, se propone que el contenido de ácidos urónicos encontrado, corresponda a los residuos de ácido glucurónico que se encuentran en el polisacárido.

Las muestras del Nopal cultivado en el Estado de Hidalgo presentan menor cantidad de ácidos urónicos en la parte insoluble siendo de 5.6 observándose que el mayor contenido de éste se encuentra en el residuo del nopal de 9.6, éstos valores están dados por al acido Glucurónico del arabinoglucuroxilano de la fracción insoluble de la hemicelulosa que se encuentra en altas cantidades en las paredes estructurales de los vegetales.



El contenido de lignina de Klason es menor en el nopal liofilizado con respecto a los demás. De acuerdo a los resultados descritos por Malainine **et al.**, 2003, el nopal contiene mayor contenido de lignina (3.6%) que la espina (1.2%), esto no se ve reflejado en los resultados esto tal vez se debe a que la lignina favorece la formación de productos condensados de celulosa, sustancias pécticas y proteínas que no pueden ser hidrolizadas por tratamiento ácido, dando un residuo que se cuantifica como lignina de Klason (Mañas **et al**, 1994). Por otro lado los tejidos vegetales contienen polifenoles libres que al ser calentados en medio ácido forman un compuesto tipo lignina que es resistente a la hidrólisis ácida y permanece en el residuo y se cuantifica como lignina (Lineback **et al**, 1982) Esto provoca ruido en la determinación de lignina que ocasiona que ésta sea subestimada.

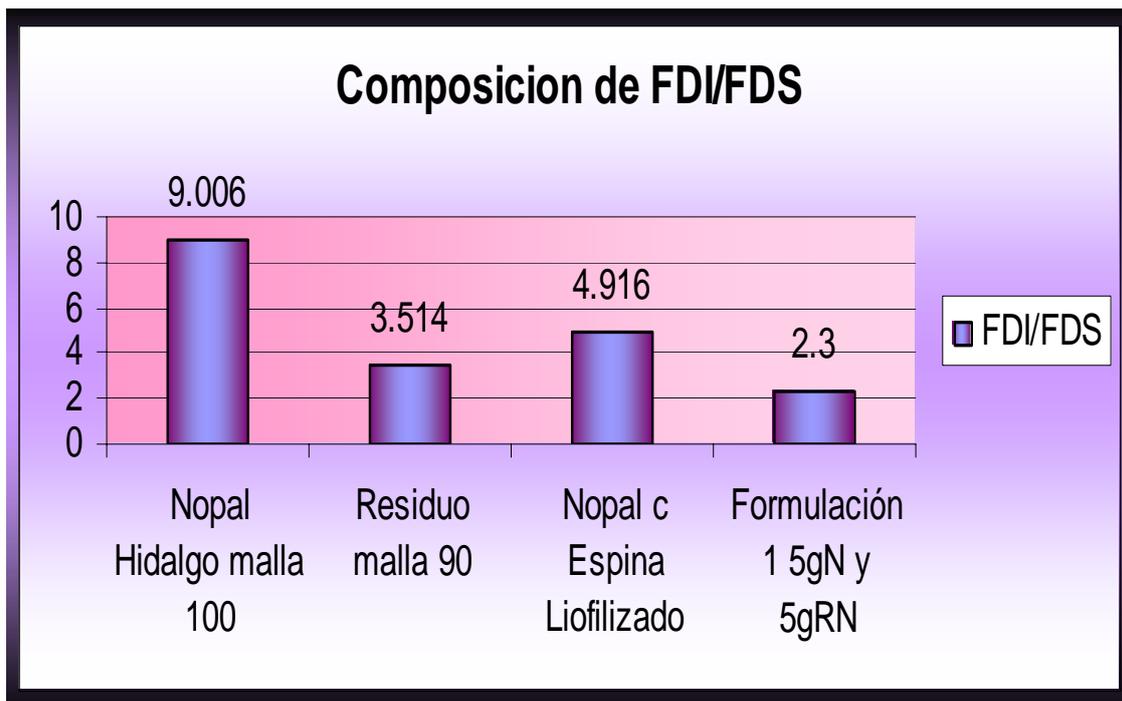


Relación de FDI/FDS

La relación entre las fracciones FDI/FDS de la FDT deben estar en el intervalo de 1.0-2.3 para poder obtener el efecto fisiológico conjunto (Grigelmo et al, 1999), mismo que se encuentra solamente en la formulación donde se encuentra la misma cantidad de nopal y espina, esto se debe que la lignina fue eliminada enzimáticamente mejorando la relación de fibra insoluble / soluble. Esto no quiere decir que en las demás formulaciones no sucediera lo mismo. Esto se observa en la tabla 20.

Tabla 20 Relación de FDI/ FDS g/100gmtra

Muestras.	FDI/FDS	FDS	RELACION
Nopal Hidalgo malla 100	29.72	3.3	9.006
Residuo malla 90	33.74	9.6	3.514
Nopal c Espina Liofilizado	31.96	6.5	4.916
Formulación 1 5gN y 5gRN	29.07	12.3	2.3



La formulación que presentan las relación de FDI/FDS de 9 es el nopal que se cultiva en Hidalgo y como se fue observando este no presentó buenas propiedades por lo cual los valores de fibra no iban estar dentro de nuestro objetivo. Aunque si se comparara con lo reportado en tabla 21, este valor esta abajo del salvado de trigo y del maíz.

Tabla 21. Contenido de Fibra Dietética en algunos derivados de cereales.

Fuente de fibra	FDS	FDI	Relación FDI/FDS
Salvado de maíz	0.40	87.47	218.7
Salvado de trigo	2.87	41.59	14.5
Salvado de avena	3.17	7.07	2.2
Bagazo de cebada	1.69	41.42	24.5

Grigelmo et al 1999a

Conforme a la literatura se puede decir que las formulaciones realizadas al tener un relación adecuada de fracción soluble e insoluble nos proporciona una fibra dietética con excelentes efectos fisiológicos mejor que las fibras dietéticas de algunos cereales, las cuales tiene muy baja proporción de Fibra Dietética Soluble.

**CAPITULO IV
CONCLUSIONES**

Conclusiones

- ✓ La muestra que presentó mejores propiedades funcionales fue la formulación 2 la cual tiene una relación soluble/insoluble adecuada para realizar la función dentro del organismo.

- ✓ Las formulaciones que presentan la mezcla de residuo de nopal (espina) y nopal podrían ser empleadas para el desarrollo de productos de panadería o postres, evitando la pérdida de agua y modificando la textura, así como conferir sabor y color.

- ✓ La formulación que presentó mejor capacidad de absorción de grasa es la del residuo del nopal (espina), por lo cual podría adicionarse en productos que requieran consistencia como los aderezos.

- ✓ Los componentes de la fibra soluble del nopal y del residuo (espina) son diferentes en cuanto a la hinchazón de sus moléculas.

- ✓ No se encontró diferencia significativa en el contenido de Fibra Dietética Total.

- ✓ En las fracciones de Fibra Dietética Soluble y Fibra Dietética Insoluble se encontró diferencia significativa siendo el nopal de hidalgo la que presentó mayor relación.

- ✓ La zona de cultivo influye en el contenido de fibra dietética presente en el nopal y en las propiedades funcionales.

- ✓ El Residuo presenta mayor contenido de fibra dietética total que todas las demás muestras, así como buenas propiedades funcionales por lo cual podría ser utilizado en la industria alimentaria para la elaboración de aderezos o como aditivo en embutidos.

✓ Los residuos de nopal representan una fuente rica de Fibra Dietética Insoluble, los cual puede ser utilizada para productos de panadería, galletas, barras de cereales.

BIBLIOGRAFIA

- Abdul-Hamid, A. (2000). Functional properties of dietary fiber prepared from defatted rice bran. *Food Chemistry*, 68, 15-19
- American Dietetic Association. 1999. Position of the American Dietetic Association: Functional Foods. *J. Am. Diet. Assoc.* 99: 1278-1285.
- Anon. (1987). Dietary Fiber Guide in *Cereal Food World*. 32, 555-565.
- Astiasarán I y A. Martínez (1995). Alimentos Ecológicos y Transgénicos. 1ª Ed. en *Alimentos, composición y propiedades* Cap16: 357-364.
- Arai S. (1996). Studies on functional foods in Japan. State of the art. *Biosci. Biotech. Biochem.* 60: 9-15
- A.O.A.C. (1995), official Methods of Analysis of Association of official Analytical Chemists. Cunniff. P. (ed), Published by AOAC International, 15th Edition, U.S.A.
- Asp, N.G. (1992). Proceedings from the Second Plenary Meeting of Eureka European FLAIR Concerted Action n°11 on physiological Implications of the Consumption of Resistant Starch in Man. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 46. Suppl. 2:S1.
- Bach Knudsen, K. E. (2001). The nutritional significance of “dietary fiber” analysis. *Animal Feed Sci. and Tech.*, 90, 3-20
- Ben, T.A. (1987). Nutritional value of several opuntia species. Master thesis, Oregon State University, Corvallis/USA.
- Bitter, T. and Muir, H.M. (1962). A modified uronic acid carbazole reaction. *Analytical Biochemistry*. 4:330-34
- Borderias, A.J., Sanchez, I., Pérez, M. (2005). New applications of fibers in foods: Addition to fishery products. *Trends in Food Science and Technology*, 20, 1-8.
- Borrego, E.F., Burgos, V.N. (1986). El nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Agosto.
- Bravo-Hollins, H., Scheinvar, L. (1995). El interesante mundo de las cactáceas. Fondo de Cultura Económica, México.
- Bravo - Hollis, H. (1978). Las cactáceas de México. 2ª ed Vol. 1 U.N.A.M. México.

- Byme, M. (1994). Nutraceuticals: Food fad or future trend. *Food Eng. Intl.* Feb, 42-43.
- Cadena Vianey (2006) Caracterización de fibra dietética total y propiedades antioxidantes del residuo del cladodio (*Opuntia spp.*), producido en Milpa Alta, como fuente de productos nutraceuticos. Tesis Licenciatura UNAM, México DF.
- Carpita, N. C., Kanabus, J: and Housley, T: L: (1989). Linkage structure of fructanos and fructan oligomers from *Triticum aestivum* and *Festuca arundinacea* leaves *J Plant Physiol* 134, 162-168.
- Cuadernos de nutrición Vol. 22 num. 3 mayo-junio 1999
- Cummings, J.H.; Macfarlane, G.T. (1991). The control and consequences of bacterial fermentation in the human colon. *J. Appl. Bacteriol.* 70, 443-459.
- Diplock, AT, Aggett, PJ, Ash well, M, Bornet, F, Fern, EB, Roberfroid, M. (1999). Scientific concepts of functional foods in Europe: consensus document. *Br J Nutr* ; 81: S1- S27.
- Edwards, C.A “Physiological effects of fiber” (1990). In *Dietary Fiber Chemistry, physiology and health effects* Kritchevsky D., Bonfield C & Anderson. J.W. (Eds) pp 167-176 Plenum Press, New York and London.
- Englyst, H.N.; Wiggins, H.S.; Cummings, J.H. (1982). Determination of the nonstarch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituents sugars as alditol acetates. *Analyst*, 107, 307-318.
- Fennema, O. R. (1993). *Química de los alimentos*. Editorial Acribia S. A., España.
- Ferguson, R. Y Fox, K. (1978). Dietary citrus fibers. *Trans. ASME. Citrus Eng. Conf.*, 24, Winterhaven, FL.
- Gordon. D.T. (1990). “Total dietary Fiber and mineral absorption” In *Dietary Fiber (Chemistry, physiology and health effects)* Kritchevsky. D. Bonfield. C & Anderson. J. W. (Eds) pp 105-122 Plenum press New York and London.
- Granados S.D. (1991). *El nopal; Historia, fisiología, genética e importancia frutícula*, Editorial Trillas, 1ª edición, México.

- Grigelmo, N., Martin, O. (1999a) Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. *Food Research International*, 31 (5): 355-61
- Grigelmo-Miguel, Nuria y Martin-Belloso, Olga (1999). Comparison of Dietary Fiber from By-products of processing Fruits and Greens and from Cereals. *Lebensm.-Wiss u.-Technol.* 32, 503-508.
- Grigelmo, N., Martin, O., Martin, M. (1999 b). Comparison of dietary fiber methods for foods. *Lebens.-Wiss. U. - Technol.* 32:503-8
- Guzmán Luna Francisco (2006). Extracción de inulina a partir de piñas de agave mezcalero. Tesis de Licenciatura UNAM México DF.
- Hamama, A.A. Y Nawar, W. (1991). Termal Decomposition of some phenolic Antioxidant. *Agric. Food Chem.* 39, 1063-1069.
- Hasler CM. (2000). The changing face of functional foods. *J. Am. Coll. Nutr.* 19: 499S-506S.
- Helia Bravo, " Las Cactáceas de México" Vol. 1 1978
- Heredia, Jiménez, Fernández-Bolaños, Bejarano and Rodríguez, (2002). Fibra Alimentaría (pp.1-117). Madrid, Spain: Biblioteca de Ciencias.
- Huck, C.W., Popp, M., Scherz, H., Bonn, G.K. (2000). Development and evaluation of a new method for the determination of the carotenoid content in selected vegetables by HPLC and HPLC-MS-MS. *J. Chromatograph. Sci.*, 38, 441-449.
- <http://www.eufic.org/sp/food> revisada marzo 2006
- <http://www.anastore.com> revisada mayo 2007
- Jaramillo, F.M.E, González, C.L., Cornejo, M.M., Dorantes, A.L., Gutiérrez, L.G.F. and Hernández, S.H. (2003). Effect of Termal Treatment on the Antioxidant Activity and Content of Carotenoids and Phenolic Compounds of Cactus Pear Cladodes (*Opuntia ficus indica*). *Food Sci. Tech. Int.*, 9, 271-278.
- Kuti, J.O. (2004). Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chemistry*, 85, 527-533.
- Larrauri, J.A. (1994). Procesos para la obtención de productos en polvo con altos contenidos en Fibra Dietética. *Rev. Alimentos*, 19, 25-30.
- Larrauri, J.A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fiber powders from fruit by-products. *Food Sci and Tech*, 10 3-8.

- Leal, L.H. (1982). La importancia del papel de la lignina en la utilización de los desperdicios agrícolas, División de estudios de postgrado, Dpto. de Alimentos, F.Q., México.
- Lee, S.S., Prosky, L. and W. De Vries, J. (1992). Determination of total, soluble, and insoluble dietary fiber in foods-enzymatic-gravimetric method, Mes-Tris buffer: collaborative study. J. Of AOAC INT., 75 (3): 395-416.
- Lerma Martínez Omar (2004) Métodos de conservación del Nopal Opuntia ficus indica.” Revisión bibliográfica. Tesis de Licenciatura UNAM México DF-
- Lineback, D: R: and Inglett, G. E. (1982). Food Carbohydrates. IFT Basic Symposium Series, AVI Publishing Company, U.S.A.
- Malainine M.E., Alain D., Daniele D., Mostafa M., Gorger V., Michael R. V. (2003). Structure and morphology of cladodes and spines of Opuntia ficus-indica. Cellulose extraction and characterisation. Carbohydrate Polymers, 51, 77-83.
- Mañas, E., Bravo, L. and Saura-Calixto, F. (1994). Sources of error in dietary fiber analysis. Food Chem., 50: 331-342.
- Mañas, E., Bravo, L. and Saura-Calixto, F. (1993). Ethanolic precipitation: A source of error in dietary fiber determination. Food Chem., 47, 351-355.
- Marchetti, G. (1993b). Inulin and fructans. Industrie Alimentari. 32, 945-949.
- Mckee, L.H. And Latner, T.A. (2000). Underutilized sources of dietary fiber: A review. Plant Foods for Human Nutrition, 55, 285-304.
- Mc Conell AA, Eastwood MA, Michel WD. (1974). Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. J Sci Food Agric,
- Medina, T.L., Brito, DEF., Torres Tiana, S.B., Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (Opuntia ficus indica), Food Hydrocolloids, 14, 417-424

- Nagy, S. and Attaway, J.A. (1992). Anticarcinogenic Activity of phytochemicals in citrus fruit and their juice products. Proc. Fla. State Hort. Soc. 105, 162-168.
- Oku, T; Tokunaga, T and Hosoya, N: (1984). Non-digestibility of new sweetener, "Neosugar," in the rat J: Nutr 114, 1574-1581.
- Periago, M.J., Ros, G., López, G., López, G., Martínez, M.C., & Rincón, (1993). Componentes de la fibra dietética y sus efectos fisiológicos. Revista Española de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 33, 229-245.
- Periago, M.J., ROS, G., Englyst, H.N. and Rincón, F. (1994). Nota. Variación en el contenido de fibra dietética del guisante (*Pisum sativum*) en función de la variedad, tamaño y método analítico. Rev. Española De Ciencia y Tecnología De Alimentos, 34(5). 565-575.
- Prosky, L., ASP, N.-G., Furda, I., Cevries, J.W., Schweizer, T.F., Harland, B.F., (1985). Determination of total dietary fiber in foods and foods products: collaborative study. J. AOAC, 68, 677-679.
- Prosky, L., ASP, N.G., Schweizer, T.F., Devries, J.W. and Furda, I. (1988). Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foodos and food products: Interlaboratory study. *J. Assoc. Off Anal. Chem.*, 71(5), 360-367.
- Prosky, L. (1999). Inulin and oligofructose are part of dietary fiber complex. JAOAC Int'l, 82(2), 223-226.
- Robertfroid, M.B., and Delzenne, N. (1993). Nutritional properties of inulin. Proc. Fourth Seminar on Inulin, Wageningen. The Netherlands, 67-78.
- Roberfroid MB. (2000). Concepts and strategy of functional food science: the European perspective. Am. J. Clin. Nutr. 71(6): 1669S-1664S.
- Robertson, J. A., Monredon, F.D., Dysseleer, P., Guillon, F., Amdo, R & thibautl, j. f. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European Collaborative Study. IWT.
- Rodriguez, F.A., Cantwell, M. (1988). Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). Plant Foods Hum. Nutr. 38, 83-93.

- Rodriguez R, Jimenez A, Fernandez-Bolaños, Guillen and Heredia. (2006) Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. *Trends in Food Science and Technology*.
- Rosado, J.L., López, P., Huerta, Z., Muñoz, E. AND Mejía, L. (1993). Dietary fiber in Mexican Foods. *Journal of food composition and analysis*, 6, 215-222.
- Rosado, J.L., Díaz, M. (1995). Physicochemical properties related to gastrointestinal effects of six dietary fibers. *Rev. Invest Cli*, 47, 283-289.
- Saenz, C. (2000). Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruit and cladodes. *Journal of Arid Environments*, 46, 209-225.
- Saura-Calixto, F. (1998). Antioxidant dietary fiber product: a new concept and a potential food ingredient. *Journal Of Agriculture And Food Chemistry*. 46 : 4303-06
- Saura-Calixto, F. (1988). Effect of condensed tannins in the analysis of dietary fiber in carob pods. *J. Food Sci.* 53, 1769-1771.
- Southgate, D.A.T. (1969). Determination of carbohydrates in foods. II. Unavailable carbohydrates. *J. Sci. Food Agric.*, 20, 331-335.
- Story J. A. and Furumoto E.J. (1990). "Dietary Fiber and bile and metabolism" In *Dietary Fiber Chemistry, physiology and health effects* kritchevsky D. Bonfield C& Anderson J.W. (Eds) pp 365-372 Plenum press New York and London.
- Teles, F.F.F., Price, R.L., Whiring, F.M., Reid, B.L. (1994). Circadian variation of non-volatile organic acids in the prickly pear (*Opuntia ficus indica* L.). *Rev. Ceres*, 614-622.
- Thebaudin J.Y., Lebevre A.C., Harrington M. and Bourgeois C.M. (1997). Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science and Technology* February, 8, 41-48.
- Tsuji, Y., Yamada, K., Hosoya, N., and Moriuchi, S. (1986). Digestion and absorption of sugar substitutes in rat small intestine. *J. Nutr. Sci. Vitamol.* 32, 93-100.

- Vasconcellos JA. 2000. Alimentos funcionales. Conceptos y beneficios para la salud. World food science.
http://www.worldfoodscience.org/vol1_3/feature1-3a.html.
- WALLACE, R.S. (1986). Biochemical taxonomy and the cactaceae: An introduction and review. *Cactus and Succulent Journal (U.S.)*, 58, 35-38.

Zeisel

APENDICE

Análisis estadístico

Todos los análisis se realizaron por triplicado, y se determinó la media y la desviación estándar.

Para corroborar la diferencias entre cada una de las muestras utilizadas para determinar las propiedades de la fibra se realizó un análisis de varianza de los resultados.

FIBRA SOLUBLE

Ácidos Urónicos

	n	Promedio	Desviación estándar	Srd. Error	Limite menor	Limite mayor
nopal con espina	9	3.102422	1.0183057	0.394352	2.193044	4.0118
residuo nopal	9	4.7446	1.258509	0.419503	3.777224	5.711976
formulación 1	9	5.617844	1.133636	0.377879	4.746455	6.489234
nopal hidalgo	9	1.652144	0.97927	0.326423	0.899411	2.404878
total	36	3.779253	1.893414	0.315569	3.138614	4.419892

	mínimo	máximo
nopal con espina	2.0736	5.42
residuo nopal	2.5452	6.6162
formulación 1	4.3428	7.6839
nopal hidalgo	0.3624	3.3932
total	0.3624	7.6839

Anova	F.V	S.C.	GL	MC	Fisher	sig
Factor		83.655	3	27.885	21.337	0
Error		41.821	32	1.307		
Total		125.476	35			

Duncan	n	1	2	3
muestra				
nopal hidalgo	9	1.652144		
nopal con espina	9		3.102422	
residuo nopal	9			4.7446
formulación 1	9			5.617844
Sig		1	1	0.115

Azúcares Neutros

	n	Promedio	Desviación estándar	Srd. Error	Limite menor	Limite mayor
nopal con espina	9	3.434878	0.544901	0.181634	3.01603	3.853726
residuo nopal	9	4.928322	0.579181	0.19306	4.483124	5.37352
formulación 1	9	6.741667	4.109915	1.369972	3.582506	9.900827
nopal hidalgo	9	1.798411	0.642375	0.214125	1.304638	2.292184
total	36	4.225819	2.744134	0.457356	3.297338	5.154301

	mínimo	máximo
nopal con espina	2.9445	4.4732
residuo nopal	4.131	6.0994
formulación 1	2.224	12.3921
nopal hidalgo	0.8753	2.452
total	0.8753	12.3921

Anova	F.V	S.C.	GL	MC	Fisher	sig
Factor		120.068	3	40.023	8.925	0
Error		143.491	32	4.484		
Total		263.559	35			

Duncan	n	$\alpha = .05$		
muestra		1	2	3
nopal hidalgo	9	1.798411		
nopal con espina	9	3.434878	3.434878	
residuo nopal	9		4.928322	4.928322
formulación 1	9			6.741667
Sig		.111	.144	.079

FIBRA INSOLUBLE

Ácidos Urónicos

	n	Promedio	Desviación estándar	Srd. Error	Limite menor	Limite mayor
nopal con espina	9	6.290744	4.161684	1.387228	3.091791	9.489698
residuo nopal	9	9.609056	4.635078	1.545026	6.046219	13.171892
formulación 1	9	8.973689	3.916718	1.305573	5.963033	11.984345
nopal hidalgo	9	5.604522	4.123666	1.374555	2.434792	8.774252
total	36	7.619503	4.387488	0.731248	6.13499	9.104015

	minium	maximum
nopal con espina	1.2265	14.1747
residuo nopal	4.7388	17.946
formulación 1	3.2301	15.8183
nopal hidalgo	0.463	12.4478
total	0.463	17.946

Anova	F.V	S.C.	GL	MC	Fisher	sig
Factor		104.561	3	34.854	1.959	.140
Error		569.191	32	17.787		
Total		673.752	35			

Duncan	n	
muestra		1
nopal hidalgo	9	5.604522
nopal con espina	9	6.290744
residuo nopal	9	8.973689
formulación 1	9	9.609056
Sig		0.073

Azúcares Neutros

	n	Promedio	Desviación estándar	Srd. Error	Limite menor	Limite mayor
nopal con espina	9	11.852967	1.754950	.5849838	10.503993	13.201940
residuo nopal	9	9.700956	.567242	.189081	9.264935	10.136976
formulación 1	9	9.240356	1.789062	.596354	7.865161	10.615550
nopal hidalgo	9	6.177300	2.307204	.769068	4.403826	7.950774
total	36	9.242894	2.635938	.439323	8.351021	10.134767

	mínimo	máximo
nopal con espina	8.3577	15.2386
residuo nopal	9.0897	10.6068
formulación 1	7.0762	12.7169
nopal hidalgo	3.5140	10.8633
total	3.5140	15.2386

Anova	F.V	S.C.	GL	MC	Fisher	sig
Factor		147.782	3	49.261	16.523	0
Error		95.404	32	2.981		
Total		243.186	35			

Duncan		$\alpha = .05$		
muestra	n	1	2	3
nopal hidalgo	9	6.177300		
nopal con espina	9			11.852967
residuo nopal	9		9.700956	
formulación 1	9		9.240356	
Sig		1	.575	1