

31
25



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

COMISION DE INVESTIGACIONES
DE LA FACULTAD DE QUIMICA

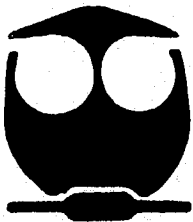
DIFERENTES FUENTES DE FIBRA DIETETICA EN MEXICO,
SU COMPOSICION, PROPIEDADES FISICOQUIMICAS
Y POSIBLES APLICACIONES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA

P R E S E N T A :

MARGARITA DIAZ MARTINEZ



MEXICO, D.F.

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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

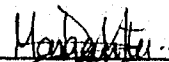
Presidente: Prof. Angela Sotelo López
Vocal: Prof. Bernardo Lucas Florentino
Secretario: Prof. Jorge Luis Rosado Loria
1er. suplente: Prof. Francisco Javier Casillas Gómez
2o. suplente: Prof. Lucía Comejo Barrera

Trabajo desarrollado en el
INSTITUTO NACIONAL DE LA NUTRICIÓN
SALVADOR ZUBIRÁN

ASESOR:


DR. JORGE LUIS ROSADO LORIA

SUSTENTANTE:


MARGARITA DÍAZ MARTÍNEZ

**Para recordarlos siempre, Elisa
Rosendo, Tato y Güero
GRACIAS**

ÍNDICE

Índice general	i
Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
Resumen	1
I INTRODUCCIÓN	
1. Definición de fibra dietética	4
2. Importancia de la fibra dietética	6
3. Composición de la fibra dietética	11
4. Propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética	13
• Intercambio de cationes	13
• Propiedades de hidratación	14
• Absorción de moléculas orgánicas	14
• Viscosidad en solución	15
5. Propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética y su efecto fisiológico	15
• Fibra dietética y obesidad	16
• Fibra dietética y diabetes	17
• Fibra dietética y arteriosclerosis	18

• Fibra dietética y enfermedades intestinales	19
• fibra dietética y el cáncer de intestino grueso	20
6. ¿Complementos de fibra o alimentos ricos en fibra?	21
7. La fibra dietética y la tecnología de alimentos	23
II. OBJETIVOS	32
III. METODOLOGÍA	
1. Determinación de la composición química	
• Selección de las muestras	33
• Análisis bromatológico	34
2. Propiedades físicas	
• Tamaño de partícula	34
• Solubilidad	34
3. Propiedades fisicoquímicas	
• Capacidad de absorción de agua (CAA)	35
• Capacidad de absorción de grasa (CAG)	36
• Viscosidad	36
• Capacidad de intercambio de cationes (CIC)	37
4. Fermentación colónica	37
5. Consideraciones estadísticas	38

IV RESULTADOS

1. Composición química	39
2. Propiedades físicas	42
3. Propiedades fisicoquímicas	45
4. Fermentación colónica	50

V. DISCUSIÓN	52
---------------------	----

VI. RECOMENDACIONES DE INVESTIGACIÓN A FUTURO	64
--	----

VII. REFERENCIAS	65
-------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.

Complementos de fibra dietética disponibles en el mercado de la Ciudad de México	10
--	----

Tabla 2.

Clasificación de las gomas por su función principal	30
---	----

Tabla 3.

Funciones de las gomas en la industria de alimentos	30
---	----

Tabla 4.

Análisis bromatológico de seis fuentes de fibra dietética	40
---	----

Tabla 5.

Tamaño de partícula de seis fuentes de fibra dietética	43
--	----

Tabla 6.

Viscosidad de seis fuentes de fibra dietética, en soluciones de diferente pH.	47
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.

Contenido de fibra dietética de seis fuentes de fibra 41

Fig. 2.

Solubilidad de seis fuentes de fibra dietética 44

Fig. 3.

Capacidad de absorción de agua y de grasa de seis fuentes de fibra dietética 46

Fig. 4.

Capacidad de intercambio de cationes de seis fuentes de fibra dietética 49

Fig. 5.

Producción de hidrógeno durante la fermentación colónica in vitro de seis fuentes de fibra dietética 51

RESUMEN

En el presente trabajo se tuvo como propósito determinar cuáles son las propiedades de las diferentes fuentes de fibra dietética que son utilizadas con mayor frecuencia en la elaboración de complementos de fibra en México, ya que son contemplados como una alternativa por los consumidores para tener una ingestión adecuada de fibra. Las muestras analizadas fueron salvado de trigo, *Psyllium plantago*, nopal deshidratado, aislado de fibra de soya, glucomannan y aislado de fibra de nopal. Los datos obtenidos se describen a continuación:

El análisis bromatológico arrojó los siguientes resultados: el glucomannan es la muestra con menor contenido de cenizas, de grasa y de proteínas por lo que no se consideraría como fuente de estos nutrimentos; mientras que el aislado de nopal, el aislado de fibra de soya y el salvado de trigo resultaron con un considerable contenido de proteína. Ninguna de las muestras tiene un contenido considerable de grasa, todas presentan <5%.

En cuanto a fibra dietética encontramos que el glucomannan y el *Psyllium plantago* son los que la presentan con mayor abundancia, pero el primero lo hace en cuanto a fibra soluble (83.4 %) mientras que el segundo en cuanto a fibra

insoluble (87.3 %). Este contenido de fibra, sumado a su capacidad de absorción de agua (33.1% y 27.0%, respectivamente) y a los valores tan elevados de viscosidad en solución, los presenta como los más adecuados para incrementar la sensación de saciedad y el peso de las heces. El aislado de fibra de soya y las fibras de nopal presentan un espectro de aplicación más amplio.

Los valores de tamaño de partícula y de capacidad de solubilización fueron muy diferentes entre las muestras analizadas; el aislado de fibra de nopal presentó una solubilidad del 12.1% mientras que el glucomannan fué un 75% soluble. Lo mismo ocurre con la capacidad de intercambio de cationes pues los valores determinados se encuentran en un intervalo que va desde 0.78 meq/g en el glucomannan hasta 6.51 meq/g del aislado de fibra de nopal.

La fermentación colónica arrojó resultados que colocan al salvado de trigo, al aislado de fibra de soya y al glucomannan potencialmente como los mejores en cuanto a la modificación del metabolismo de los lípidos y, en consecuencia, en la disminución de los niveles plasmáticos del colesterol debido a la elevada producción de hidrógeno. Sin embargo, estos resultados pueden deberse a la fermentación de carbohidratos y proteínas presentes en los productos analizados por los que deberán ser considerados con reserva.

Como puede verse, no todas las fuentes de fibra dietética presentan las mismas propiedades por lo que no podemos esperar que produzcan los mismos efectos. Se debe tener un conocimiento del tipo de fibra que ofrecen los complementos comerciales para poder decidir cuál de ellos es el más indicado de acuerdo a las necesidades de cada consumidor, siempre tratando de que la fibra se consuma preferentemente a partir de los alimentos.

I INTRODUCCIÓN.

1. DEFINICIÓN DE FIBRA DIETÉTICA

La definición de muchos conceptos, varía según el área en que sean definidos o el objetivo de la definición (1). En el área de la Química de Alimentos también existen algunos desacuerdos en cuanto a la definición de fibra dietética. El término "fibra" resulta algo confuso ya que varios autores han asumido equivocadamente que fibra dietética es equivalente a fibra cruda o a celulosa. En muchos casos el término ha sido usado tan imprecisamente que es difícil establecer lo que el autor quiere que implique el uso del mismo. Hipsley (2) fue el primero en utilizar "fibra dietética" como un término con el significado de carbohidratos no disponibles, el cual le había sido aplicado anteriormente a algunos carbohidratos no digeribles (rafinosa, estaquirosa, verbascosa, y polisacáridos diferentes al almidón) por Mc Cance y Lawrence (3). Mas tarde, Trowell sugiere que la fibra dietética es el residuo de pared celular de la planta, no digerible por las enzimas del tracto digestivo de los humanos (4). Además de polisacáridos y lignina, esta definición incluye a las proteínas no digeribles, lípidos y constituyentes inorgánicos de la pared celular. Algunos años más tarde, el mismo Trowell, restringió la definición para incluir solamente a los carbohidratos no digeribles y la lignina de las paredes celulares; y al mismo

tiempo, la extendió para incluir a los polisacáridos no digeribles no provenientes de las paredes celulares (5); éstos abarcan también a los polisacáridos de almacenamiento como gomas, mucílagos (producidos por algunas plantas para evitar la desecación de las semillas), polisacáridos de algas marinas, y celulosa y almidón modificados químicamente. La razón para incluir a estos polisacáridos no estructurales en la definición de fibra dietética fué que se puede esperar que se comporten como los polisacáridos estructurales durante su paso por el tracto digestivo, y por lo tanto, que no se digieran; además no pueden diferenciarse analíticamente de los polisacáridos estructurales. Algunos autores (6) insisten en colocar dentro de la definición a las proteínas no digeribles; sin embargo, la mayoría de los autores coincide en dejarlas fuera dado que la digestibilidad de la proteína es afectada por factores no relacionados con la fibra dietética (como el tratamiento térmico de los alimentos), y no hay métodos disponibles para una medida exacta de la digestibilidad de la proteína *in vitro* (7).

Frecuentemente se define a la fibra dietética como "los polisacáridos diferentes del almidón más la lignina" (8). Sin embargo, recientemente ha sido cuestionada la completa digestión del almidón, pues algunos estudios indican una considerable malabsorción del almidón de pan blanco y otros cereales (9,10). Adicionalmente, el almidón que no se digiere a su paso por el intestino

delgado se le ha denominado almidón resistente, el cual está incluido en muchos métodos para la determinación de la fibra dietética (7). Existen datos suficientes que indican que el almidón resistente se comporta fisiológicamente como la fibra dietética por lo que no existen razones para excluirlo de la definición de fibra dietética.

Considerando lo anterior, y para efectos del presente trabajo de investigación, la fibra dietética queda definida como el conjunto de carbohidratos resistentes a la hidrólisis enzimática del tracto digestivo de los humanos más la lignina. Aunque estamos definiendo a la fibra dietética como resistente a la hidrólisis en el intestino delgado, ésta puede ser parcialmente degradada por las bacterias del colon, produciendo ácidos volátiles y otras sustancias que si pueden ser absorbidas en el intestino grueso.

2. IMPORTANCIA DE LA FIBRA DIETÉTICA

La fibra dietética es un componente importante de los alimentos que ha cobrado el interés de los médicos, nutriólogos y científicos en alimentos en las

últimas décadas. Este interés fue estimulado por estudios epidemiológicos que sugieren una relación entre la cantidad de la fibra en la dieta con desórdenes crónicos como constipación, diverticulitis, cáncer de colon, y con el riesgo de enfermedades crónicas como obesidad, problemas cardiovasculares y diabetes en los países occidentales y desarrollados (11). Las evidencias sugieren que cuando hay un consumo escaso de fibra dietética se aumenta la frecuencia en la incidencia de estas enfermedades. Estos estudios compararon las diferencias entre los patrones de enfermedad de poblaciones rurales y aquellas de vida urbana, estas últimas económicamente más desarrolladas; y se observó que estos patrones de enfermedad también se manifiestan en individuos que emigran de poblaciones rurales a poblaciones urbanas. La relación entre la dieta y los patrones de enfermedad puede deberse al hecho de que se sustituyen alimentos de origen vegetal con alto contenido de fibra por alimentos más refinados, disminuyendo así el consumo total de fibra. A pesar de que estos datos no son determinantes, hay que considerar que las dietas ricas en fibra son típicamente bajas en proteínas, y que toda la digestibilidad y biodisponibilidad de nutrientes son muy diferentes a las que ofrece una dieta rica en productos de origen animal. Incluso las condiciones climáticas de cada zona afectan los patrones de alimentación. Es por todo esto que la etiología por la cual están relacionados el consumo de fibra y los patrones de enfermedades permanece sin definir.

Enfocándonos a los efectos del consumo de fibra dietética tenemos que los polisacáridos que componen a la fibra dietética no son hidrolizados completamente por las enzimas del tracto digestivo de los mamíferos y sólo sufren una insignificante hidrólisis en el estómago, por lo que pasan prácticamente intactos al intestino grueso. De este modo, se encuentran disponibles casi en su totalidad para producir los efectos propios de la fibra: a corto plazo proporcionan volumen para la acción peristáltica y facilitan el paso del material a través del intestino; este incremento en el movimiento del intestino ocasiona una eliminación más rápida de los productos de desecho que, de permanecer ahí, podrían producir irritación o incluso, las condiciones propicias para el desarrollo del cáncer (12). A largo y mediano plazo ocasiona una modificación en el metabolismo de los carbohidratos, además de la función del intestino grueso y en la absorción de minerales (13). De forma adicional, estos polisacáridos aumentan la excreción de ácidos biliares, lo que da como resultado una disminución en el nivel plasmático del colesterol (14). Esto puede ser consecuencia de su capacidad para unirse a cationes trivalentes como Al^{3+} y Fe^{3+} lo que les permite fijar aniones, incluyendo los ácidos biliares, disminuyendo así, las sales biliares disponibles para formar micelas y absorber el colesterol de la dieta; esto propicia el aumento de la síntesis de ácidos biliares a partir del colesterol (15).

Debido a los efectos fisiológicos (16,17,18), a las ventajas médicas del consumo de la fibra dietética (19,20, 21), y al interés en la fibra dietética tanto por los consumidores, como por los científicos, se ha dado un desarrollo importante en fuentes de fibra dietética que se pueden usar como ingredientes en la formulación de los productos comerciales con alto contenido de fibra (22). En la actualidad, hay una amplia gama de fuentes de fibra disponibles (Tabla 1), sin embargo, la identificación de su efecto fisiológico particular todavía no está definida. Una cuidadosa caracterización física y química de la fibra puede dar lugar a una predicción más válida respecto a sus efectos metabólicos.

Tabla 1. COMPLEMENTOS DE FIBRA DISPONIBLES EN AUTOSERVICIOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO¹	
PRODUCTO	INGREDIENTE(S) PRINCIPAL(ES)
Agiolax	Semillas de plantago ovata
Bekunis Té	Vainas y hojas de sen
Bromectina	Fibra de soya, fibra de nopal, salvado, goma guar y CMC
Bromelina	Salvado de trigo
Fybogel	Cascarillas de Ispaghula
Fisiolax	Cascarillas de Psyllium plantago
Metamucil	Cascarillas de Psyllium plantago
Naturetti	Semillas de Psyllium plantago y fibra de trigo
Nopal	Nopal deshidratado
Nopaesbelt	Nopal deshidratado
Psilumax	Semillas de Psyllium plantago y salvado de trigo
Plantax	Salvado de trigo y Psyllium plantago
Polvo Rostenberg	Fibra de soya, fibra de nopal, goma guar, carragenina
Roha laxen	Semillas de plantago ovata
Tamarine	Hojas y vainas de sen
Té Lagenbach	Vainas y hojas de cassia acutifolia

¹ Aurrerá, Comercial Mexicana, Gigante, Bodega Aurrerá

3. COMPOSICIÓN DE LA FIBRA DIETÉTICA

La composición química de los vegetales varía ampliamente de unas especies a otras y como además cada órgano vegetal está constituido en su mayor parte por tejidos vivos metabólicamente activos, su composición cambia también (12). Limitándonos a lo referente a la fibra dietética, podemos decir lo siguiente:

Los componentes más abundantes de la fibra dietética se encuentran dentro de o asociados a las paredes celulares de las plantas. Estos incluyen compuestos como la celulosa, la hemicelulosa, la pectina y la lignina. Otros, como ya se mencionó, son biosintetizados por las plantas como respuesta a agresiones o para prevenir la desecación de las semillas. Estos polisacáridos no estructurales incluyen a varias gomas pécticas y mucilagos asociados con el endospermo y el espacio intercelular (23,24). Toda vez que varía la composición química, la función de cada fracción de la fibra dietética varía también. A continuación se describen las fracciones principales de la fibra dietética (12):

- Celulosa: es un polímero lineal de glucosa con enlaces $\beta(1\rightarrow4)$ y es también el componente principal de la pared celular de las plantas. Es esencialmente insoluble en agua.

- β -glucanos: son polímeros de glucosa que presentan enlaces $\beta(1\rightarrow3)$ y $\beta(1\rightarrow4)$ en varias proporciones, dependiendo de la fuente, y hacen a la molécula menos lineal que la celulosa y más soluble en agua.
- Pectinas: son sustancias compuestas principalmente de ramnogalactanos (ácido D-galacturónico y ramnosa) y pueden contener a otros carbohidratos como cadenas laterales. Las pectinas hidrosolubles y las protopectinas insolubles se encuentran como parte de las paredes celulares.
- Hemicelulosas: Son grupos heterogéneos de polisacáridos que contienen una variedad de azúcares en el esqueleto polimérico y cadenas laterales. Se pueden clasificar por el contenido monosacárido del esqueleto. Algunos de éstos son los arabinoxilanos (esqueleto de xilosa con cadena lateral de arabinosa), galactomananos y xiloglucanos.
- Lignina: es un polímero no polisacárido altamente complejo que contiene unidades de fenilpropano derivadas de compuestos fenólicos.
- Otros: Aunque no entran en la definición de fibra dietética tienen actividades fisiológicas importantes para entender las respuestas fisiológicas a dietas ricas en fibra; algunos de estos compuestos son el ácido fenólico, el ácido fítico, inhibidores de enzimas digestivas, y los compuestos de Maillard.

4. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA FIBRA DIETÉTICA

Las paredes celulares de las plantas están constituidas por una red tridimensional y heterogénea con zonas cristalinas y amorfas, y con áreas hidrofílicas e hidrofóbicas. La cohesión de estas redes se mantiene por enlaces físicos y químicos de diferente fuerza, además de la presencia de grupos cargados negativamente (25). Esta estructura hace que la fibra dietética presente una serie de propiedades físicoquímicas que van a determinar su efecto fisiológico. Algunas de estas propiedades son la capacidad de intercambio de cationes, capacidad de absorción de agua y de moléculas orgánicas, y capacidad de ser fermentada. Estas propiedades, al combinarse, juegan un papel importante en la digestión, en la biodisponibilidad de nutrimentos, en la viscosidad e integración a los alimentos, en el nivel plasmático de colesterol y triglicéridos, en el volumen y consistencia de las heces, en el índice glicémico de los alimentos y dietas (12).

a) Intercambio de cationes

Algunas fuentes de fibra dietética tienen la capacidad de quelar a algunos minerales nutricionalmente importantes; en consecuencia, pueden influir en la

absorción de éstos (26,27). Este efecto se ha demostrado con el hierro, el zinc y el calcio, principalmente. Los iones de calcio en particular pueden unirse a través de los grupos carboxilo de las pectinas, mientras que el zinc y el hierro en su forma bivalente (Zn^{2+} , Fe^{2+}) son fijados por el ácido fítico de la fibra (28).

b) Propiedades de hidratación

La capacidad de hidratación de la fibra resulta en la formación de un gel (29). Esta propiedad provoca una disminución en la velocidad de absorción de nutrimentos solubles ya que estos interactúan en la matriz del gel alargando el tiempo de tránsito intestinal y de vaciamiento gástrico (30). Los principales componentes de la fibra relacionados con esta propiedad son las pectinas y los mucílagos, y de una manera más limitada, la hemicelulosa (1).

c) Adsorción de moléculas orgánicas

Esta propiedad de las fibras ha sido relacionada muy estrechamente con los ácidos biliares (31,32,33); se ha demostrado que la fibra, especialmente las ligninas y las pectinas son las fracciones más importantes en cuanto a la absorción de ácidos biliares (34,35,36). Para las ligninas se han sugerido

interacciones hidrofóbicas como mecanismo de adsorción (36,37), mientras que para las pectinas han sido propuestas interacciones iónicas (28).

d) Viscosidad en solución

Esta propiedad está estrechamente relacionada con la capacidad de absorción de agua, pues a pesar de que no existe una proporcionalidad directa entre ambas propiedades, las fibras que causan una mayor viscosidad en solución son las que presentan una mayor capacidad de absorción de agua (38).

5. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA FIBRA DIETÉTICA Y SU RELACIÓN CON EL EFECTO FISIOLÓGICO DE SU CONSUMO

Las propiedades fisicoquímicas de la fibra y la respuesta fisiológica a su ingestión, han demostrado cierta relación con un número muy importante de enfermedades tales como obesidad, constipación, hemorroides, diverticulitis, cáncer de colon, diabetes y enfermedades cardiovasculares (1). En todos los casos el mecanismo de acción de la fibra esta asociado con las propiedades físicas y fisicoquímicas de la fibra dietética mencionadas. Estas propiedades,

como ya se mencionó, están determinadas por la estructura y las propiedades individuales de los diferentes componentes de las paredes celulares; de este modo, la acción fisiológica específica de la fibra varía dependiendo del tipo de fibra y de la región del tracto digestivo sobre la cual actúa (39). Una de las áreas en las que la investigación está enfocada es la definición de los efectos fisiológicos de la fibra basándose en la determinación de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales y en los usos de la fibra dietética en los alimentos (40).

La determinación de las propiedades fisicoquímicas *in vitro* es muy importante en la obtención de un punto de referencia para comparar las diferentes fuentes de fibra dietética. Recientemente esto ha permitido una clasificación más sencilla de numerosas fibras dietéticas (41,42).

- **Fibra dietética y obesidad.**

Los resultados de estudios experimentales (43) y epidemiológicos (44) sugieren la posibilidad de que un aumento en la ingestión de fibra puede contribuir en el tratamiento y control de la obesidad. los siguientes mecanismos se han propuesto como responsables de este efecto de la fibra (1):

- a) Una reducción en la cantidad de calorías ingeridas en la dieta debido al valor calórico reducido de la fibra y a su capacidad para retener agua.
- b) Una disminución en la absorción de la energía debida a la interacción de la fibra con proteínas, grasas y carbohidratos en el proceso de digestión.
- c) Una disminución en la ingestión de alimentos debida principalmente a un aumento en el tiempo de masticación y en el efecto de saciedad, debido al volumen extra del contenido intestinal.
- d) Cambios en los niveles plasmáticos de glucosa, insulina y quizá, otras hormonas.

- **Fibra dietética y diabetes**

La diabetes es probablemente la enfermedad más estrechamente asociada con la ingestión de fibra. Durante las últimas décadas, basándose en observaciones clínicas, experimentales y epidemiológicas, se ha desarrollado el concepto de que la ingestión elevada de fibra dietética puede proteger a los individuos de presentar diabetes, y que la ingestión de fibra tiene beneficios terapéuticos en el paciente diabético (45). También se han propuesto varios mecanismos para explicar la relación entre la fibra dietética y la diabetes (1):

a) El retraso en la absorción de la glucosa constituye el factor principal que determina la reducción de la glicemia postprandial en dietas con alto contenido de fibra.

b) Un aumento en la sensibilidad a la insulina (46) y un retardo en el vaciamiento gástrico (47).

- **Fibra dietética y arteriosclerosis**

Un nivel elevado de colesterol o de lipoproteínas de baja densidad en el plasma, está generalmente asociado con un incremento en el riesgo de desarrollar arteriosclerosis (48), mientras que un nivel elevado de lipoproteínas de alta densidad está asociado negativamente con este desarrollo (49). Observaciones epidemiológicas (44), demuestran una asociación entre la ingestión de dietas altas en fibra y la disminución de los niveles de colesterol. En forma similar, el consumo de dietas basadas en alimentos de origen vegetal ha sido considerado como un factor de protección contra la hiperlipidemia, con niveles bajos de colesterol plasmático, y con una menor incidencia de arteriosclerosis (50,51). El mecanismo por el cual la ingestión de fibra dietética modifica el metabolismo de los lípidos puede ocurrir a varios niveles (1):

a) La fibra dietética puede disminuir los niveles plasmáticos de colesterol mediante la reducción en la absorción de colesterol y ácidos biliares.

b) La fermentación bacteriana de la fibra produce ácidos grasos volátiles (butírico, propiónico y acético); y parte de éstos se absorben en el colon (52). Algunas observaciones (53,54) demuestran que tanto el ácido propiónico como el ácido acético modifican el metabolismo de los lípidos disminuyendo la síntesis de lipoproteínas de baja densidad.

- **Fibra dietética y enfermedades intestinales**

Los alimentos generalmente permanecen en el estómago y en el intestino delgado por unas horas, la mayor parte del tiempo del tránsito intestinal los alimentos permanecen en el intestino grueso (55). Debido a que el intestino delgado puede absorber entre 80 y 90 % de los alimentos ingeridos, la carga de material no digerible, como fibra dietética, que llega al intestino grueso es muy concentrada. Uno de los efectos más consistentes de la fibra dietética es incrementar el peso de las heces y su contenido de agua, haciendo la materia fecal más voluminosa y suave (30). Por otro lado, la falta de fibra en la dieta parece ser una de las causas principales de una serie de enfermedades del

tracto digestivo, entre las cuales destacan la constipación y la enfermedad diverticular (56).

- **La fibra dietética y el cáncer del intestino grueso**

Varios estudios demuestran que las dietas altas en grasa, especialmente en grasa de origen animal, con un bajo contenido de fibra dietética, están asociadas con un aumento en la posibilidad de padecer cáncer del intestino grueso (57,58); sin embargo, debido a la etiología multifactorial del cáncer, una serie de inconsistencias en los estudios experimentales no apoyan el efecto protector de la fibra dietética contra el cáncer del intestino grueso en forma definitiva. Lo que ocurre es que la fibra dietética produce una serie de cambios fisiológicos en el intestino grueso que pueden contribuir con la reducción en la incidencia de cáncer de colon y recto (59). Los mecanismos posibles incluyen (1).

a) Un efecto de dilución del contenido intestinal que produce una dilución de sustancias potencialmente cancerígenas.

b) La disminución del tiempo de tránsito intestinal puede estar asociada con un tiempo de permanencia menor de los carcinógenos potenciales, reduciendo el riesgo de activación.

c) A consecuencia de la fermentación colónica de ciertos tipos de fibra, se producen ácidos grasos de cadena corta, se disminuye el pH del colon, se estimula el crecimiento bacteriano, y se disminuye el nivel de amonio y otros productos nitrogenados.

d) La adsorción mecánica de sustancias cancerígenas por la fibra.

Dada la heterogeneidad de la fibra dietética resulta impráctico hacer generalizaciones sobre su efecto fisiológico y la relación de éste con diferentes patologías. No todos los atributos de la fibra se localizan en un mismo tipo de fibra, ni siquiera en una misma fuente de fibra dietética.

6. ¿COMPLEMENTOS DE FIBRA O ALIMENTOS RICOS EN FIBRA?

Los patrones de alimentación en México sugieren que la población rural consume una cantidad significativa de alimentos vegetales con un elevado contenido de fibra dietética (60), mientras que las poblaciones urbanas presentan patrones de alimentación muy variados en los que frecuentemente se encuentran dietas basadas en alimentos refinados (61). Haciendo una comparación entre el

consumo de fibra dietética en México entre 1979 y 1989 (62), se observa que aunque en 14 de las 19 regiones nutricionales de México se incrementó el consumo de fibra dietética, sólo en 7 se consume la cantidad recomendada, (30-40 g/día) (60), lo que indica que una gran mayoría de la población aún en zonas rurales consume cantidades insuficientes de fibra. Es importante mencionar que la cantidad de fibra dietética consumida está en función del tipo de alimentos que se incluyen en la dieta habitual.

Actualmente contamos con información acerca del contenido de fibra dietética de los alimentos mexicanos (63), y con ella que podemos elaborar una dieta variada que aporte la cantidad de fibra dietética necesaria para el buen funcionamiento de nuestro organismo; no obstante, es difícil cambiar las costumbres alimenticias de las personas, por lo que se ha intentado lograr el mismo efecto agregando a la dieta algunos complementos de fibra ya que la falta de tiempo no permite detenerse a observar qué, cómo y cuánto consumen de cada nutrimento.

Gran parte de los complementos de fibra se elaboran a base de salvados y, recientemente, de nopal. Si estos ingredientes los consideramos tan benéficos, lo ideal sería incluirlos en la dieta habitual. Sin embargo, dado que la tendencia

de los últimos años es la de los complementos, debemos por lo menos estar informados acerca de cuáles serán los beneficios que nos dará el producto elegido, de acuerdo a la fuente de fibra a partir de la cual ha sido elaborado y a la proporción que contiene de ésta.

7. LA FIBRA DIETÉTICA Y LA TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Las aplicaciones tecnológicas de la fibra dietética ciertamente no son restringidas, pues son adicionadas como ingredientes enriquecedores en algunas formulaciones, o buscando algún efecto en la textura en algunas otras. En los últimos años la fibra se ha convertido en uno de los componentes más populares de los alimentos. Aunque hasta hace poco se había utilizado el término "fibra" para hablar de fibra cruda, ahora se sabe que "fibra dietética" es un término más completo, pues incluye a los carbohidratos no digeribles de los alimentos.

Existen numerosos ingredientes "altos en fibra" disponibles para los tecnólogos en alimentos que deseen utilizarlos ya sea como enriquecedores de productos que inicialmente no contienen fibra, o para elevar el contenido de ella

en los productos que ya la contemplan como uno de sus ingredientes. Los más comunes son las harinas integrales, muy utilizadas en los productos a base de granos, y son usadas de acuerdo a las características finales de color, sabor y textura deseadas. Por ejemplo, el salvado de trigo, obtenido durante la molienda en las etapas de limpieza y descascarillado, debe ser elegido cuidadosamente pues si proviene de trigo rojo ocasionará una variación en sabor (haciéndolo más fuerte); y en la textura (haciendo al producto más áspero); mientras que si proviene de trigo blanco dará un sabor más tenue y una textura más suave.

Un ingrediente "alto en fibra" relativamente nuevo es el salvado de maíz, que le proporciona a los productos un ligero oscurecimiento, un sabor suave y un olor a cereal limpio y fresco, éste puede ser utilizado para incrementar el contenido de fibra en alimentos procesados, o para acentuar la textura natural del alimento.

Aunque el salvado de avena tuvo mucha popularidad por su capacidad para reducir los requerimientos de insulina en diabéticos (64), hoy en día no se encuentra con facilidad debido a que no hay un mercado aceptable para la harina refinada de avena. También hay disponible fibra a partir de chícharo, la cuál se utiliza en panificación para dar color, sabor y aroma.

La celulosa purificada también se encuentra disponible comercialmente, y su contenido de fibra cruda disminuye al mismo tiempo que, lo hace el tamaño de partícula. Este ingrediente goza de gran popularidad por no proporcionar color, olor ni sabor.

Los ingredientes mencionados son fuente de fibra insoluble principalmente, la cual produce sólo algunos de los efectos de la fibra (ver páginas anteriores) y cuyas principales aplicaciones están en la industria de la panificación y en la de la elaboración de cereales para el desayuno. Tanto en la panificación como en la elaboración de cereales para el desayuno, se puede perseguir un enriquecimiento bajo, medio o alto en el contenido de fibra, logrando que, en el caso de la panificación, el pan, a mayor contenido de fibra, sea en general, de un color más oscuro, de un sabor más fuerte y de una textura más áspera. Haciendo combinaciones entre los diferentes ingredientes puede lograrse un contenido mayor de fibra y una apariencia más agradable. La celulosa se utiliza para aumentar el contenido de fibra disminuyendo la cantidad de calorías proporcionadas por el producto, sin embargo, se debe considerar que el proceso es más crítico dado que la masa con celulosa es menos fuerte, y que un alto nivel de celulosa interfiere en el desarrollo de esta masa, es decir, en la

transformación que sufre durante la fermentación con levadura, o durante la cocción, por lo que se debe adicionar gluten para contrarrestar este efecto.

Pero, ¿qué ocurre con las fibras solubles? Como un aditivo enriquecedor directo, las fibras solubles pueden competir con las insolubles. Aunque las fibras solubles son valoradas en alimentos sólidos, horneados, y en dulcería, su gran aplicación está dentro de los alimentos que requieren de ingredientes solubles como algunas bebidas, las sopas, y otros líquidos de baja viscosidad, donde la fibra soluble ni siquiera se distingue del producto original. En cambio, si se agrega fibra insoluble a una bebida, ocurre uno de dos efectos: o se asienta en el fondo del recipiente, o queda suspendida; y ninguno de éstos efectos es deseable, pues puede resultar en un producto menos atractivo para el consumidor (65). De este modo, las fibras solubles son lo más indicado para adicionarse a bebidas pues se alterarán únicamente en el gusto y en sus propiedades reológicas, en caso de haber un incremento en la viscosidad. La goma arábiga es la mejor de todas las fibras solubles como un aditivo directo en los productos líquidos: es alta en contenido de fibra, presenta la viscosidad más baja, es inodora, insabora, por completo natural y su inocuidad ya ha sido establecida (66). Si un producto puede tolerar una viscosidad de hasta 20 cp, podrá ser enriquecido con 18 gramos de fibra por cada porción de 8 onzas (65).

De acuerdo a los estatutos norteamericanos, la CMC (Carboximetilcelulosa) es verdaderamente útil, pues se requiere una cantidad muy pequeña para lograr los mismos efectos que la goma arábiga cuando ésta se adiciona en una proporción mucho mayor. La gran desventaja radica en que la FDA (Food and Drug Administration) no la considera un ingrediente natural (65).

Pero no son los líquidos el único campo de acción de las fibras solubles (aunque es en él donde son únicas), también son muy buscadas como espesantes, pues al sustituir al almidón, harina, azúcar, grasas y aceites, no sólo se incrementa el contenido de fibra sino que se disminuye al mismo tiempo, el aporte de calorías. Por ejemplo, combinando goma guar y CMC de baja viscosidad, se puede disminuir el contenido calórico de una sopa sin alterar sus características reológicas y además incrementando su contenido de fibra. Cabe mencionar que la goma guar puede también ser adicionada en panificación pues la goma guar favorece la obtención de la textura y consistencia del pan; esto se logra con pequeñas cantidades de goma con lo que se disminuye la cantidad de harina requerida (65).

La mayoría de los jarabes "bajos en calorías" disponibles actualmente en el mercado, utilizan fibra soluble para mantener la consistencia una vez que se

elimina el azúcar que la proporcionaba. En helados, salsas y aderezos para ensaladas los espesantes son grasas y aceites; y aunque éstos no pueden ser eliminados sin alterar drásticamente las características del producto, sí pueden ser adicionados en menor cantidad al sustituirlos parcialmente por fibra soluble, siempre logrando un incremento en la cantidad de fibra en el producto y una disminución en el aporte de calorías. También en refrescos con pulpa y en jugos de verdura la adición de fibra soluble persigue un efecto espesante y acarrea los mismos beneficios.

La utilidad de las gomas se basa en su capacidad para modificar las propiedades básicas del agua (67). Los principales usos de las gomas en alimentos son como agentes espesantes o gelificadores, que están relacionados con propiedades funcionales secundarias como emulsificación y estabilización. La tabla 2 muestra la clasificación de las gomas más usadas por sus propiedades funcionales. La tabla 3 relaciona las propiedades funcionales con los usos en alimentos.

Las propiedades funcionales de las gomas juegan un importante papel en la calidad comestible y la aceptación sensorial de los alimentos, especialmente de productos líquidos o fluidos (68). El cuerpo, la consistencia, la viscosidad, la

adherencia, la cremosidad y la aceitosidad son comúnmente utilizados para describir las características de textura atribuibles a las gomas. En 1962 se mostró que las medidas reológicas objetivas de soluciones de gomas pueden estar directamente relacionadas con el gusto y otras medidas subjetivas de atributos sensoriales (69).

La comprensión de esta relación ayudará en el desarrollo de productos alimenticios con gran aceptación de los consumidores. Si los atributos de textura pueden ser relacionados con parámetros físicos, entonces pueden ser utilizados para monitorear la calidad durante el proceso y almacenamiento (70), con la ventaja de que la medida de propiedades funcionales son más rápidas de analizar y presentan menor variación que los datos sensoriales.

La viscosidad de la solución también puede afectar la intensidad del sabor, la cuál es detectada debido a rápidas reacciones químicas que se llevan a cabo en la superficie de la lengua. Para ser detectado, el sabor debe difundirse en la superficie de las papilas gustativas y esta difusión está relacionada con la viscosidad del alimento (40).

Tabla 2. CLASIFICACIÓN DE LAS GOMAS POR SU FUNCIÓN PRINCIPAL. ¹		
GOMA	FUNCIÓN	
	ESPESANTE	AGENTE GELIFICANTE
GOMA GUAR	+	-
GOMA DE FRIJOL	+	-
PECTINA	-	+
ALGINATO	+	+
CARRAGENINA	-	+
DERIVADOS DE CELULOSA	+	-
GOMA TRAGACANTO	+	-
GOMA ARÁBICA	+	-
GOMA XANTANA	+	-

Tabla 3. FUNCIONES DE LAS GOMAS EN LOS ALIMENTOS ¹	
FUNCIÓN	APLICACIÓN EN ALIMENTOS
AGENTE ESPESANTE	SALSAS, ADEREZOS, RELLENOS PASTELEROS, JALEAS Y COBERTURAS
AGENTE GELIFICANTE	JALEAS, MERMELADAS, CONSERVAS, PUDINES, POSTRES EN GEL, IMITACIONES DE FRUTA
AGENTE DILATADOR	CARNES PROCESADAS
AGENTE DE SUSPENSIÓN	LECHE CON CHOCOLATE
EMULSIFICADOR	ADEREZOS PARA ENSALADAS
AGENTE DE RETENCIÓN	EMBUTIDOS
ADHESIVO	GARAPIÑADOS

¹ Adaptado de Sharma ,1981 (12)

El presente trabajo busca dar una información práctica de las características de las fuentes de fibra dietética más comúnmente utilizadas en los principales complementos disponibles en el mercado, para así, poder predecir con una mayor precisión los efectos que tendrá cada uno de los complementos, lo que facilitará la elección del consumidor.

II OBJETIVOS

- 1.-** Determinar la composición de las diferentes fuentes de fibra dietética utilizadas más comúnmente en los complementos de fibra.
- 2.-** Determinar las propiedades fisicoquímicas de las fuentes de fibra dietética utilizadas más comúnmente en los complementos de fibra.
- 3.-** Determinar la capacidad de fermentación colónica de las diferentes fuentes de fibra dietética utilizadas más comúnmente en los complementos de fibra.

III METODOLOGÍA

1. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

a) Selección de las muestras

Las muestras analizadas fueron salvado de trigo (ST), glucomannan (GM), *Psyllium plantago* (PP), aislado de fibra de soya (AS), nopal deshidratado (ND), y aislado de fibra de nopal (AN), por ser de las que con mayor frecuencia se utilizan en los productos disponibles en el mercado en México. El ST se obtuvo en tiendas de la ciudad de México (Nutrisa S.A. de C.V.); el GM se obtiene a partir de la harina de Konjac, proveniente de la *Amorphophalus konjac* y aislado por un proceso patentado y realizado en Japón (Redifoods S.A. de C.V.); el PP se obtiene por extracción de la planta del mismo nombre (Konsyl, Missouri, EUA); el ND se obtiene mediante el secado del nopal fresco (Micrometrix S.A.); y el AN se extrae con etanol y agua a partir de nopal fresco mediante un proceso desarrollado recientemente (71).

b) Análisis bromatológico

A cada fuente de fibra se le determinó el contenido de humedad, cenizas, grasa y proteínas de acuerdo con los Métodos Oficiales de Análisis del AOAC (72), y el contenido de fibra dietética por el método gravimétrico-enzimático de Prosky *et al* (73) que permite determinar el contenido de fibra dietética soluble e insoluble.

2. PROPIEDADES FÍSICAS

a) Tamaño de partícula

Este se determinó tamizando 100 g de muestra en mallas de número 10, 30, 40, 60, 80 y 100, las cuales retienen partículas de tamaño >2000, >600, >425, >250, >180 y >150 μm , respectivamente. Los resultados se reportan como el porcentaje de materia retenida en las diferentes mallas.

b) Solubilidad

Para determinar la solubilidad de cada muestra se colocaron 5 g de muestra en un matraz Erlenmeyer y se añadieron 200 ml de agua destilada, se

agitó a 200 rpm en un agitador Junior Orbit (Labline Instruments, Inc. Melrose Park, Illinois). durante dos horas. Después de filtrar la solución al vacío a través de papel Whatman No. 41, se evaporaron 100 ml de la misma a sequedad en cápsulas de porcelana previamente puestas a peso constante; la materia soluble la constituye el residuo en la cápsula. El resultado se expresa en gramos de materia soluble por 100 gramos de muestra seca (72).

3. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

a) Capacidad de absorción de agua (CAA)

Se determinó mediante una modificación del método de Mc Conell *et al* (74) que consiste en colocar 0.45 g de muestra seca en tubos para centrifuga y agitarlos durante un minuto a máxima velocidad (Super Mixer. Labline Instruments, Inc. Melrose Park, Illinois) con 25 ml de agua destilada y dejarlos reposar a temperatura ambiente por 24 horas para después centrifugarlos a 14,000 x g (11,000 rpm; rotor JA-20, centrifuga Beckman J2-MC) durante 1 hora. A las muestras centrifugadas se les elimina el sobrenadante y se le determina la

humedad al residuo. Los resultados se expresan en gramos de agua absorbida por gramo de muestra seca.

b) Capacidad de absorción de grasa (CAG)

El método utilizado en esta prueba fue similar al descrito para determinar la CAA: se colocó 1 g de muestra en los tubos de centrifuga y se les adicionaron 10 g de aceite de maíz, se agitaron durante un minuto a máxima velocidad (Super Mixer. Labline Instruments, Inc. Melrose Park, Illinois) y se dejaron reposar por 24 horas a temperatura ambiente para centrifugarlos también a 14 000 x g (11,000 rpm; rotor JA-20, centrifuga Beckman J2-MC), y eliminar el sobrenadante. El contenido de grasa de las muestras se determinó por diferencia de peso y se expresó como gramos de grasa absorbidos por gramo de muestra seca.

c) Viscosidad

Se elaboraron soluciones al 1% de cada una de las muestras en agua destilada (38) y se les midió la viscosidad mediante un viscosímetro Brookfield (Massachusetts, EUA) al tiempo 0 y cada hora durante seis horas. Las condiciones de trabajo fueron: una velocidad de giro de 20 rpm y una temperatura ambiente de 22 °C. Las mediciones se hicieron en soluciones de pH de 2, 4 y 7,

(adicionando HCl 0.1M o NaOH 0.1M) considerando las condiciones en diferentes porciones del tracto digestivo.

d) Capacidad de intercambio de cationes (CIC)

La CIC se determina mediante una modificación del método de Michel *et al* (75): se disuelven 0.2 g de muestra en 50 ml de agua desionizada con lo que se obtiene la forma H de la fibra, se titulan con una solución de KOH 0.0042 N, y el resultado se expresa como los meq OH⁻ intercambiados por gramo de muestra.

4. FERMENTACIÓN COLÓNICA

Se llevó a cabo mediante una modificación del método de Levitt *et al* (76) que consiste en homogeneizar con buffer de fosfatos con un pH=7 y de una concentración de 0.1 M, una muestra de heces recientemente obtenida de un donador (1:15). Se coloca la muestra en tubos con tapones herméticos y llaves de tres vías; se adiciona nitrógeno para lograr condiciones anaerobias y se agita cada tubo por 15 segundos para incubarse a 37°C con agitación durante cuatro horas. Se toma una muestra de gas al tiempo cero y cada hora, cuidando de

sustituir la muestra de gas tomada por un volumen igual de nitrógeno para mantener la anaerobiosis. Una vez transcurridas las cuatro horas, se procede a leer las muestras en un cromatógrafo de gases (Quintron Microlyzer) obteniendo lecturas en ppm de H_2 para cada uno de los tiempos y muestras. Aunque el H_2 no es el único producto de la fermentación de la fibra dietética en el colon, se utiliza como indicador del potencial de fermentación del sustrato (92).

5 CONSIDERACIONES ESTADÍSTICAS

Previo a la realización de cada una de estas pruebas hubo un período de estandarización en cada una de ellas de modo que el coeficiente de variación presentara un valor <5%.

IV RESULTADOS

1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Los datos obtenidos en el análisis bromatológico se muestran en la tabla 4. Se puede observar que el menor contenido de cenizas lo presenta el glucomannan lo que refleja un contenido bajo de electrolitos y minerales, la contraparte fue el nopal deshidratado pues es la muestra que menos modificaciones sufre durante el proceso de obtención. El aislado de fibra de nopal muestra el mayor contenido de proteína, aumentándolo más de seis veces con respecto al nopal deshidratado, también el aislado de fibra de soya y el salvado de trigo mostraron un contenido de proteína considerable. La cantidad de grasa presente no es considerable en ninguna de las muestras.

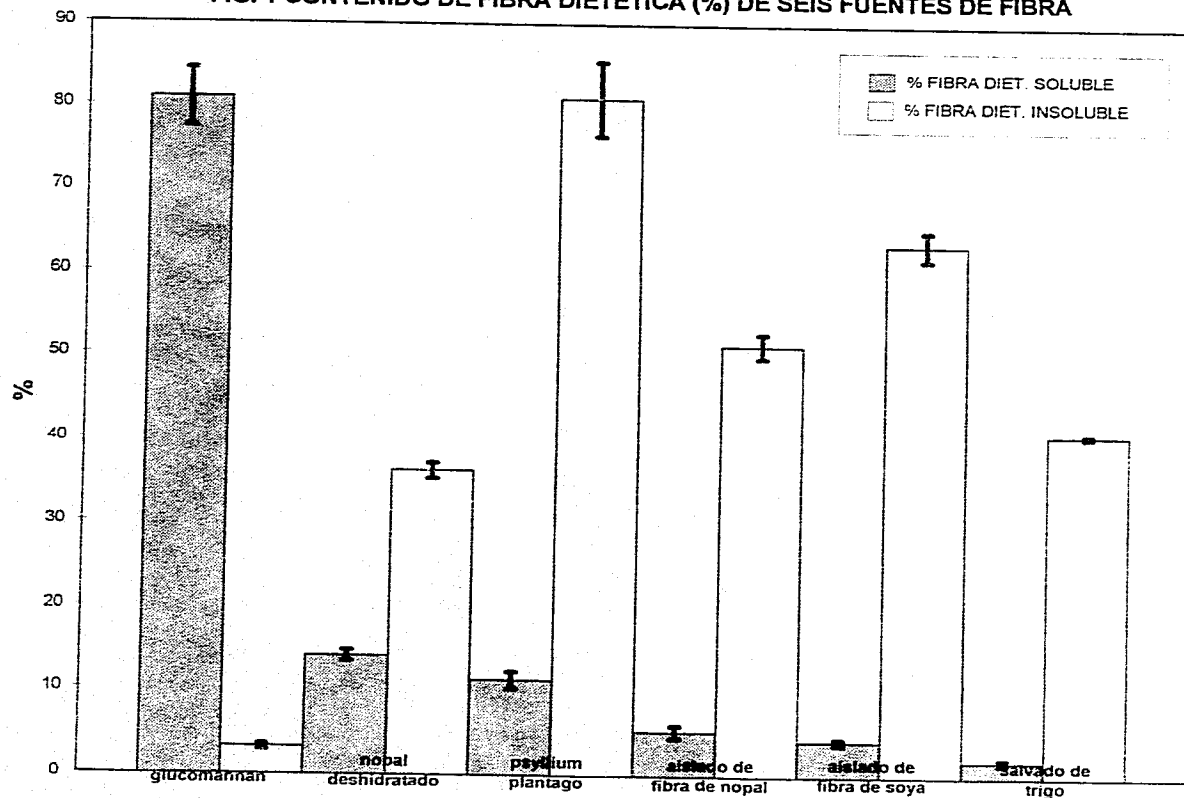
Los mayores aportadores de fibra dietética (fig. 1.) fueron el glucomannan y el *Psyllium plantago* con más del 80 %, mientras que el nopal deshidratado, el aislado de nopal y el aislado de soya presentaron entre 50 y 70 % de contenido de fibra dietética; el único que presentó menos del 50 % fue el salvado de trigo. Dentro de la fibra dietética se pueden distinguir la fibra dietética soluble y la

Tabla 4. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE SEIS FUENTES DE FIBRA DIETÉTICA						
MUESTRA	% HUMEDAD	% CENIZAS	% GRASA	% PROTEÍNAS	% FIBRA DIETÉTICA TOTAL	% CARBOHIDRATOS
GM	4.3 ± 0.09	0.8 ± 0.02	0.5 ± 0.0	0.3 ± 0.004	83.4 ± 3.5	10.7
ND	12.0 ± 0.07	16.9 ± 0.2	1.9 ± 0.02	2.9 ± 0.05	50.4 ± 0.9	15.9
AN	7.7 ± 0.2	10.4 ± 0.2	1.5 ± 0.007	18.9 ± 0.02	56.7 ± 1.1	4.8
ST	9.0 ± 0.3	4.9 ± 0.04	5.3 ± 0.02	13.9 ± 0.2	43.2 ±	76.3
AS	4.9 ± 0.01	6.4 ± 0.02	0.3 ± 0.002	12.3 ± 0.01	68.8 ± 1.0	7.3
PP	8.4 ± 0.1	3.9 ± 0.1	2.8 ± 0.07	6.0 ± 0.09	77.3 ± 4.0	1.6

Los valores presentados son el promedio ± DE de 5 determinaciones, excepto los carbohidratos que se calcularon por diferencia

GM= GLUCOMANNAN
 ND= NOPAL DESHIDRATADO
 AN= AISLADO DE NOPAL
 ST= SALVADO DE TRIGO
 AS= AISLADO DE SOYA
 PP= PSYLLIUM PLANTAGO

FIG. 1 CONTENIDO DE FIBRA DIETETICA (%) DE SEIS FUENTES DE FIBRA



insoluble, el glucomannan es el que más fibra soluble contiene (97%), mientras que el *Psyllium plantago* contiene más a fibra insoluble (98%), sólo el aislado de fibra de nopal y de soya presentan menos del 50% de fibra dietética insoluble, dejando al salvado de trigo y al nopal deshidratado como los más bajos, el glucomannan prácticamente no contiene fibra insoluble. En cuanto a fibra dietética soluble, el *Psyllium plantago* y el nopal deshidratado presentan >10% y el aislado de fibra de nopal y de soya y el salvado de trigo contienen <6%.

2. PROPIEDADES FÍSICAS

En la tabla 5 y fig. 2 encontramos los resultados de tamaño de partícula y de solubilidad, respectivamente, de cada fuente de fibra. El salvado de trigo, el glucomannan, el aislado de fibra de soya y de nopal son las muestras con el tamaño de partícula más uniforme; sólo el salvado de trigo presentó partículas con un tamaño >2.0 mm pues comercialmente se encuentra en forma de hojuelas pequeñas. Las muestras menos uniformes fueron el *Psyllium plantago* y el nopal deshidratado. Al comparar la solubilidad de las muestras con el tamaño de partícula, vemos que el salvado de trigo, siendo el de tamaño de partícula más

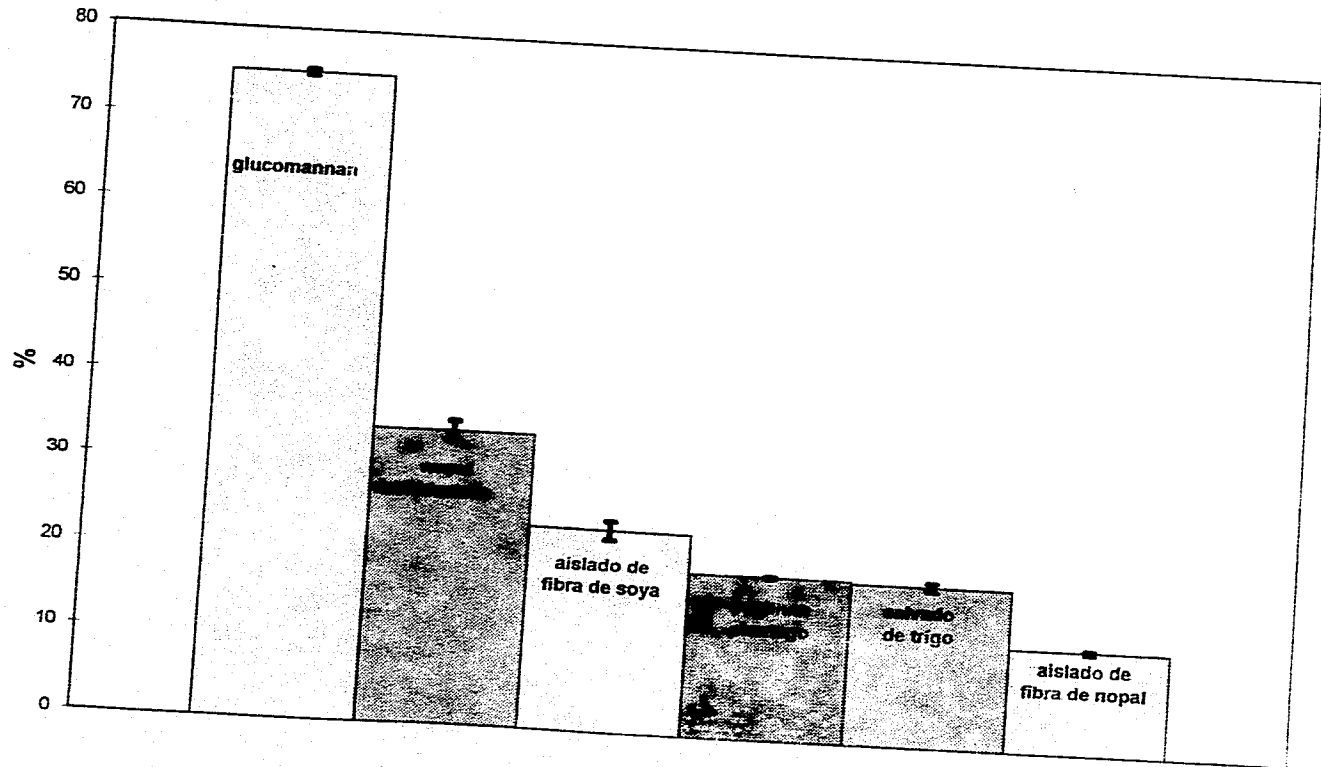
Tabla 5. TAMAÑO DE PARTÍCULA (μm) DE SEIS FUENTES DE FIBRA DIETÉTICA							
% DE RETENCIÓN							
No. TAMIZ	10	30	40	60	80	100	BASE
ABERTURA (#) →	2000	600	425	250	180	150	*****
MUESTRA ↓							
GM	*****	*****	*****	27.86 \pm 0.15	48.93 \pm 0.23	16.26 \pm 0.05	6.66 \pm 0.15
ND	*****	2.83 \pm 0.15	8.9 \pm 0.17	35.73 \pm 0.35	16.6 \pm 0.79	7.93 \pm 0.21	26.93 \pm 0.15
AN	*****	7.67 \pm 0.11	12.96 \pm 0.30	45.73 \pm 0.15	13.6 \pm 0.30	5.1 \pm 0.26	13.76 \pm 0.05
ST	22.6 \pm 0.26	71.16 \pm 0.05	2.03 \pm 0.15	1.06 \pm 0.58	0.17 \pm 0.09	*****	3.13 \pm 0.20
AS	*****	*****	*****	0.63 \pm 0.37	10.63 \pm 0.20	56.96 \pm 0.20	30.8 \pm 0.17
PP	*****	1.93 \pm 0.15	3.16 \pm 0.25	3.18 \pm 0.1	26.73 \pm 0.25	13.83 \pm 0.15	21.86 \pm 0.15

Los valores mostrados son el promedio \pm DE de tres mediciones
 *****= No hubo partículas retenidas en estas mallas.

GM= GLUCOMANNAN
 ND= NOPAL DESHIDRATADO
 AN= AISLADO DE NOPAL
 ST= SALVADO DE TRIGO

AS= AISLADO DE SOYA
 PP= PSYLLIUM PLANTAGO

FIG. 2 SOLUBILIDAD (%) DE SEIS FUENTES DE FIBRA DIETETICA



uniforme es uno de los menos solubles con apenas un 18%; los aislados de fibra también son de tamaño de partícula uniforme y no son las muestras más solubles; el nopal deshidratado es de los menos uniformes y presenta una solubilidad del 34%, mientras que el más soluble es el glucomannan con un 75% de solubilidad y no es el más uniforme.

3. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

a) Capacidad de absorción de agua (CAA) y de grasa (CAG)

En la fig. 3 se muestran los resultados de estas pruebas: el glucomannan y el *Psyllium plantago* son las muestras con una mayor CAA, mientras que el salvado de trigo mostró un valor casi despreciable. Las demás muestras presentaron valores comparativamente bajos. En lo referente a la CAG, no hubo una diferencia significativa entre las muestras.

b) Viscosidad

El *Psyllium plantago* y sobre todo el glucomannan, presentan valores de viscosidad muy elevados (tabla 6). El glucomannan desde el tiempo cero es la

FIG. 3 CAPACIDAD DE ABSORCION DE AGUA Y DE GRASA (g/g) DE SEIS FUENTES DE FIBRA DIETETICA

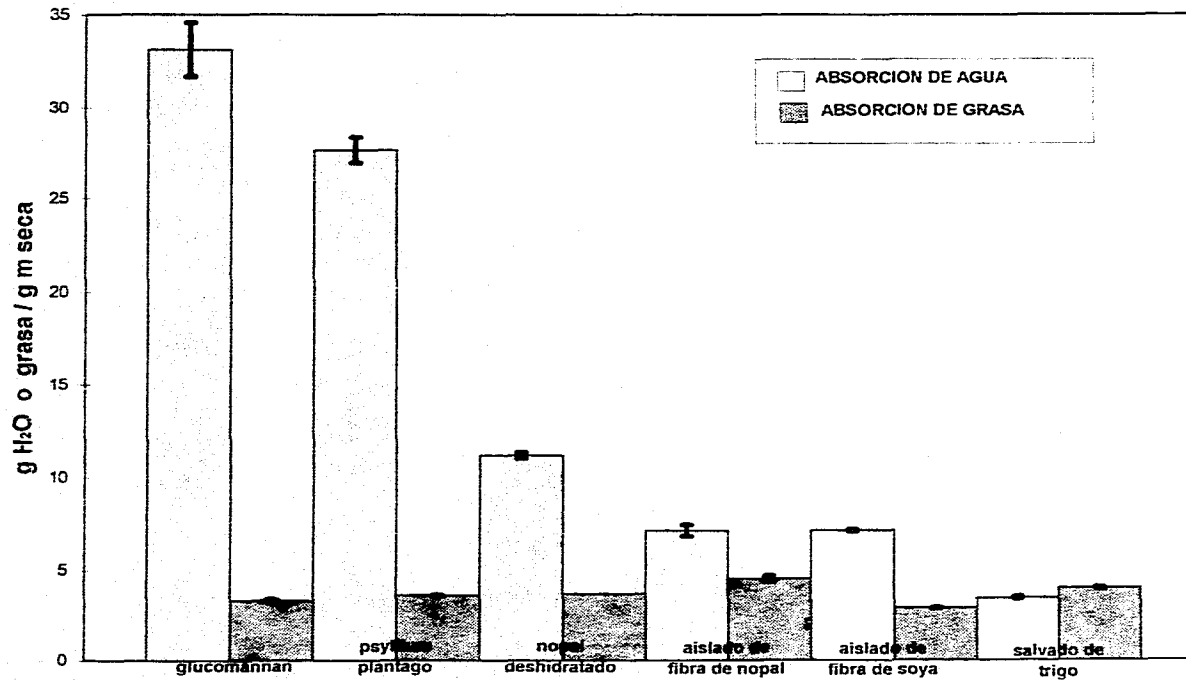


Tabla 6. VISCOSIDAD (EN CENTIPOISES) DE SEIS FUENTES DE FIBRA DIETÉTICA, EN SOLUCIONES DE DIFERENTE pH

MTRA	pH	0'	60'	120'	180'	240'	300'	360'
GM	2	17000 ± 1054	22500 ± 2635	24100 ± 994	31455 ± 522	5000 ± 1054	39400 ± 1505	70800 ± 421
	4	500 ± 0.0	1,000 ± 0.0	15000 ± 632	33900 ± 994	37500 ± 527	46900 ± 2025	53900 ± 1197
	7	500 ± 0.0	750 ± 264	3,050 ± 158	5,000 ± 0.0	9,500 ± 527	40000 ± 1054	41,500 ± 527
PP	2	40 ± 10.5	91 ± 11.9	105 ± 5.3	125 ± 5.3	154.5 ± 7.6	149.5 ± 1.6	151 ± 3.2
	4	55 ± 5.2	95 ± 15.8	117.7 ± 11.2	119 ± 3.1	140 ± 10.5	120 ± 10.5	124 ± 5.1
	7	72.5 ± 13.1	95 ± 5.2	95 ± 5.2	99.5 ± 1.5	125 ± 5.2	140 ± 10.5	147.5 ± 2.6
AN	2	0.0 ± 0.0	0.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.4 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.25 ± 0.0
	4	1.4 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0
	7	1.25 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0
ND	2	1.25 ± 0.0	0.37 ± 0.1	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.45 ± 0.05	1.3 ± 0.2	1.37 ± 0.1
	4	1.25 ± 0.0	1.22 ± 0.02	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0
	7	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0
ST	2	1.0 ± 0.0	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1	1.25 ± 0.0	1.37 ± 0.1	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0
	4	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0
	7	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0
AS	2	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0
	4	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0
	7	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0	1.25 ± 0.0

Los valores mostrados son el promedio ± DE de tres determinaciones

GM= GLUCOMANNAN
 ND= NOPAL DESHIDRATADO
 AN= AISLADO DE NOPAL
 ST= SALVADO DE TRIGO

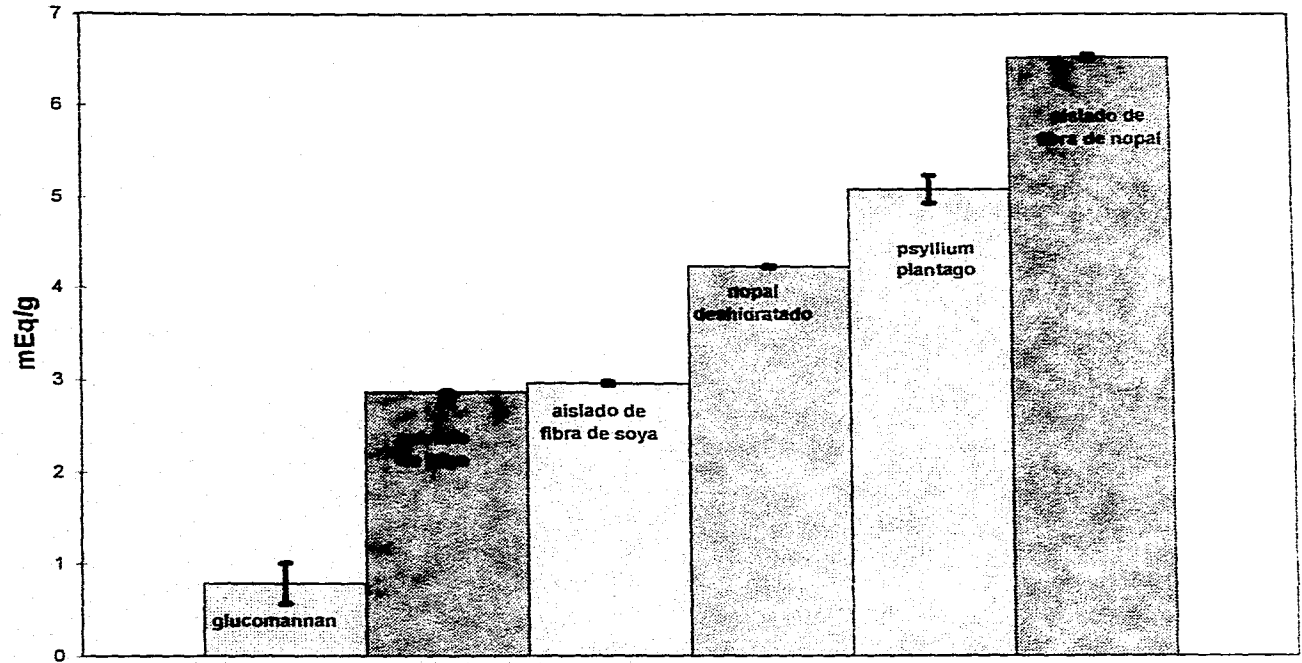
AS= AISLADO DE SOYA
 PP= PSYLLIUM PLANTAGO

muestra con mayor viscosidad, la cual es mayor en un medio ácido durante los primeros tiempos, en el tiempo 5 parece no haber diferencias debidas al pH, volviendo a ser mayor la viscosidad en pH ácido en el tiempo 6. Comparándolo con el *Psyllium plantago*, presenta una viscosidad 10 veces mayor al tiempo cero en pH 4 y 7, mientras que a pH 2 es más de 30 veces mayor. Durante las primeras horas se vio afectado por el pH: a pH ácido la viscosidad es mucho mayor que a pH 4 y 7, en las últimas horas, sin embargo, esa diferencia es menor. Cabe mencionar que todavía después de las seis horas de la prueba, la viscosidad del glucomannan continuó en ascenso. El resto de las muestras parece no ser afectado por el tiempo o por el pH de la solución, presentando una viscosidad constante y muy reducida durante las seis horas.

c) Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC)

El aislado de fibra de nopal presenta una CIC muy elevada (fig. 4) comparada tanto con las otras muestras como con datos reportados en otros estudios (77). El nopal deshidratado, el salvado de trigo y el aislado de fibra de soya mostraron valores intermedios; el glucomannan y el *Psyllium plantago* se mostraron prácticamente sin CIC.

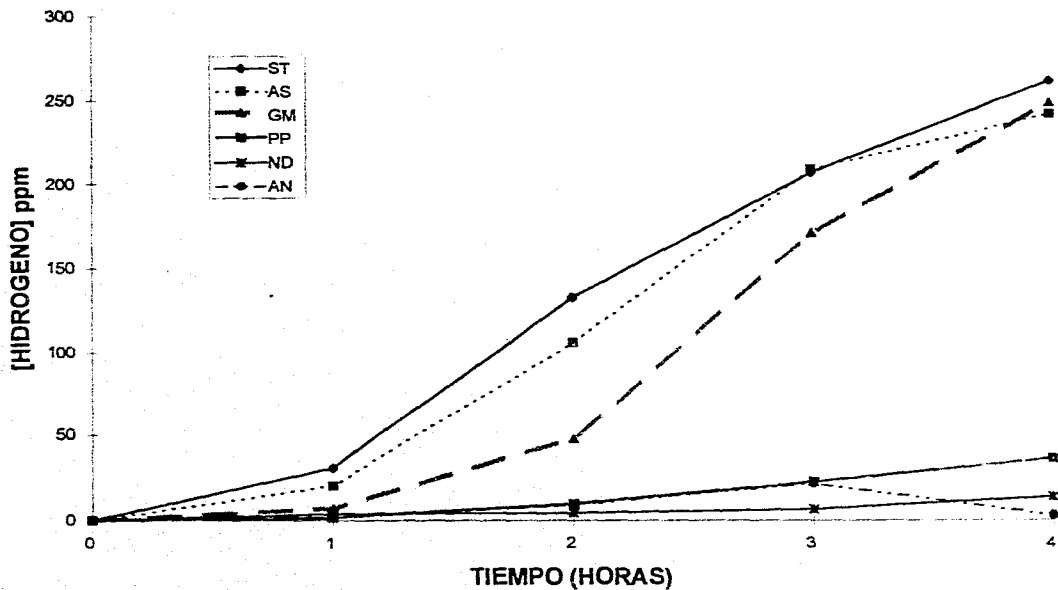
FIG. 4 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (mEq/g) DE SEIS FUENTES DE FIBRA DIETETICA



4. FERMENTACIÓN COLÓNICA

Las fuentes de fibra con mayor producción de hidrógeno (fig. 5) fueron el aislado de fibra de soya, el glucomannan y el salvado de trigo. Estos dos últimos contra todas las expectativas pues contienen una mayor proporción de fibra insoluble que soluble. El *Psyllium plantago* se mostró como un sustrato medianamente fermentable, mientras que las fibras de nopal se mostraron prácticamente resistentes a la fermentación.

FIG 5. PRODUCCION DE HIDROGENO DURANTE LA FERMENTACION COLONICA IN VITRO DE SEIS FUENTES DE FIBRA DIETETICA



GM: glucomannan
AS: aislado de fibra de soya

ST: salvado de trigo
PP: psyllium plantago

ND: nopal deshidratado
AN: aislado de fibra de nopal

V. DISCUSIÓN

La composición química de las muestras analizadas se encuentra dentro de los rangos obtenidos en otros estudios del salvado de trigo, el aislado de soya y el *Psyllium plantago* (27,73,78). Una comparación práctica y objetiva de la relación tamaño de partícula-solubilidad se realiza entre diferentes tamaños de partícula de una misma muestra. En este estudio se buscó determinar la solubilidad de las muestras en la forma en que son obtenidas por el consumidor. Ciertamente no son pocos los estudios relacionados con la fibra dietética y sus propiedades fisicoquímicas (22,38,79-82,84), pero sí lo son los estudios realizados con las mismas muestras que se han analizado en el presente trabajo. A los cereales los encontramos con frecuencia (22,38,83) igual que a las gomas (1,10,12.1) pues son productos que resultan representativos en cuanto al contenido de fibra dietética insoluble y soluble, respectivamente.

Los resultados obtenidos aquí no se encuentran alejados de los encontrados en estudios previos: respecto a las propiedades fisicoquímicas tenemos que las muestras analizadas con mayor frecuencia son el salvado de trigo y el aislado de soya (16,22,80,81); en el presente estudio encontramos que el salvado de trigo presenta una CAA (capacidad de absorción de agua) de 3.45

g/g, mientras que otros autores reportan valores que van de 3.15 hasta 263 g/g (16,81), por lo que nos damos cuenta de que aún utilizando el mismo método hay variaciones en los resultados que son significativas. Sin embargo, la variación pudo deberse a factores tales como el origen de la muestra o el método utilizado. La CAG (capacidad de absorción de grasa) no la encontramos en todos los estudios de propiedades fisicoquímicas pero los valores reportados (22,82) son cercanos a los encontrados por nosotros.

En cuanto a la viscosidad, la muestra que con mayor frecuencia ha sido analizada es el glucomannan (38,43,83-85): algunos autores reportan una viscosidad de 5,500 cp a los 180' en un pH de 2 (38), mientras otros dan un valor de 15,000 cp a los 240' en un pH de 2 (8,3); como se puede observar, tanto los valores como el tiempo en que son obtenidos son diferentes entre sí y son diferentes a los reportados aquí, sin embargo, todos coinciden en reportar una viscosidad mayor conforme transcurre el tiempo y en que el valor máximo está en un pH ácido. Al resto de las muestras no las encontramos reportadas en cuanto a esta propiedad, muy probablemente debido a que resulta casi despreciable el valor que presentan en todo tiempo y pH.

g/g, mientras que otros autores reportan valores que van de 3.15 hasta 263 g/g (16,81), por lo que nos damos cuenta de que aún utilizando el mismo método hay variaciones en los resultados que son significativas. Sin embargo, la variación pudo deberse a factores tales como el origen de la muestra o el método utilizado. La CAG (capacidad de absorción de grasa) no la encontramos en todos los estudios de propiedades fisicoquímicas pero los valores reportados (22,82) son cercanos a los encontrados por nosotros.

En cuanto a la viscosidad, la muestra que con mayor frecuencia ha sido analizada es el glucomannan (38,43,83-85): algunos autores reportan una viscosidad de 5,500 cp a los 180' en un pH de 2 (38), mientras otros dan un valor de 15,000 cp a los 240' en un pH de 2 (8,3); como se puede observar, tanto los valores como el tiempo en que son obtenidos son diferentes entre sí y son diferentes a los reportados aquí, sin embargo, todos coinciden en reportar una viscosidad mayor conforme transcurre el tiempo y en que el valor máximo está en un pH ácido. Al resto de las muestras no las encontramos reportadas en cuanto a esta propiedad, muy probablemente debido a que resulta casi despreciable el valor que presentan en todo tiempo y pH.

Investigaciones anteriores (18,59,86) nos muestran valores de CIC muy variables dependiendo de la muestra y de la preparación de la misma, lo que refleja la necesidad de uniformar criterios de análisis para lograr una comparación de resultados más válida. Por lo pronto, los valores más altos encontrados en dichas investigaciones son en una variedad de zanahorias con una CIC de 2.5 meq/g (77); espinaca cruda con 1.23 meq/g, semillas de *Psyllium plantago* con 1.1 meq/g, Metamucil con 2.7 meq/g (18) y parecen pequeños al lado del valor de 6.51 y 5.0 meq/g que encontramos nosotros en el aislado de fibra de nopal y en el *Psyllium plantago*, respectivamente; nuevamente entra en juego el método utilizado y la preparación de la muestra. Tal vez, lo más adecuado es enfocar la preparación de la muestra al ion que más interesa en cada estudio para facilitar la medida de la CIC, ya que para poder predecir con cierta exactitud la asociación de minerales con un sitio celular específico, es necesario saber su concentración de cargas aniónicas y la afinidad de los minerales por estos sitios aniónicos (86); además de que la fibra dietética es más o menos degradada por las bacterias del intestino grueso, por lo que su CIC puede ser muy diferente de la determinada *in vitro* (25).

En lo referente a la fermentación tenemos que tanto los carbohidratos como la fibra, al ser fermentados por la flora bacteriana del colon dan como

resultado la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) (21,87,88). Los estudios encontrados en los que se midió la producción de H₂ (102,76,88) nos sirvieron de base para montar la técnica de fermentación *in vitro*; mientras que aquellos en los que se determina la producción de AGCC nos dan una idea de los alimentos cuyo consumo favorece la presencia de estos compuestos en el colon (88,89). Leslie, *et al* (21) encontraron que productos como el brócoli, la zanahoria, y la coliflor resultaron mejores productores de AGCC que el apio, la lechuga o el rábano. Todos estos productos presentan un mayor contenido de fibra dietética insoluble que soluble (63); un patrón de comportamiento contrario siguió el estudio realizado por Titgemeyer, *et al* (88) donde los mayores productores de AGCC fueron pectina de manzana y fibra de soya, contra chícharos y fibra de avena. A continuación se plantea una posible explicación de estos resultados contradictorios entre sí.

Tenemos que por definición, la fibra no es degradada por las enzimas del intestino delgado de los mamíferos, pero sí sufre una pequeña degradación mediante la fermentación por las bacterias del intestino grueso. El nivel de degradación depende de la estructura y el tipo de fibra de que se trate: las pectinas, gomas y mucílagos son casi completamente degradados, mientras que la celulosa se degrada parcialmente y la lignina se muestra prácticamente

resistente a la fermentación (90,91). Los estudios mencionados y el presente muestran que los productos con gran contenido de fibra dietética insoluble también son fermentables y en algunos casos más que las muestras con mayor contenido de fibra dietética soluble. Pero el H₂ no es el único producto de la fermentación bacteriana en el colon. Junto con él se produce metano, bióxido de carbono y ácidos grasos de cadena corta (92). Cabe mencionar que este estudio es parte de un macroproyecto que incluye la determinación de la producción de ácidos grasos de cadena corta *in vitro* y la corroboración de todos estos resultados mediante una evaluación *in vivo* de los efectos de cada una de las muestras analizadas, lo que permitirá redondear los resultados de una forma más objetiva. Como podemos ver, la fermentación *in vitro* tiene sus deficiencias: no hay uniformidad de resultados en los estudios realizados hasta ahora. Cada estudio puede tener sus propias condiciones de trabajo, ya sea por los reactivos empleados, por el estado del equipo, la pureza del gas utilizado para lograr la anaerobiosis, etc. Esto es sumamente importante ya que se está trabajando con microorganismos y, como sabemos, cualquier modificación en las condiciones puede alterar en mayor o menor grado su metabolismo; además de que en estas pruebas los donadores de las bacterias colónicas pueden tener floras bacterianas muy diferentes debido a sus propias condiciones intestinales, a sus hábitos alimenticios, y a su edad. Además, como una limitación extra en la interpretación

de los resultados, tanto en el presente estudio como en aquellos a los que se ha hecho referencia (21,88,89), el motivo de estos resultados puede ser el hecho de que en todos los casos las muestras fueron sometidas en su estado original a la acción de las bacterias colónicas, lo que permitió que todos los carbohidratos y proteínas que pudieran haber sido hidrolizados por ácidos y enzimas gástricos, entraran en contacto con las bacterias intestinales sin haber sufrido ninguna modificación, además de que pueden ser degradados y/o fermentados con mayor rapidez y eficiencia que la fibra dietética sola (76). Esta eventualidad podría ser eliminada si se aislara la fibra dietética de cada muestra y, a partir de ella, se realizara la fermentación. Sin embargo, esto representa una gran inversión de tiempo pues este proceso se realiza con menos de 1 g de muestra, lo que hace necesario un gran número de repeticiones para lograr una cantidad suficiente de muestra y, en consecuencia, el costo de la determinación se elevaría demasiado debido a los precios actuales de enzimas y demás reactivos requeridos. Por todo lo anterior, y dado que el análisis bromatológico coloca al glucomannan como prácticamente sólo fibra dietética soluble, y en consecuencia como una gran opción como sustrato para fermentación, puede ser considerado como la muestra que más favorecerá la presencia de AGCC en el colon.

EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

Debemos tener presente que la fuente ideal para cualquier nutrimento son los alimentos que consumimos habitualmente. Sin embargo, como ya se mencionó, la disminución en la ingestión de fibra dietética (62), relacionada con la aparición y desarrollo de enfermedades crónicas (61), ha propiciado el consumo de complementos de fibra para asegurar una ingestión adecuada.

Los principales efectos del consumo de fibra se deben a las propiedades fisicoquímicas de ésta (22,54,93). Entre estos efectos podemos mencionar a la sensación de saciedad, la disminución en la respuesta glicémica a los alimentos, y la capacidad para reducir los niveles plasmáticos de colesterol, la biodisponibilidad de algunos nutrimentos, y el riesgo de cáncer de colon y recto. Considerando los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, podemos sugerir lo siguiente:

1. El glucomannan y el *Psyllium plantago* son las muestras con un mayor contenido de fibra dietética total, las de mayor CAA, y con la viscosidad más elevada, por lo que pueden producir efectos como:
 - Un retraso en la absorción de glucosa (94) que provocará a su vez una disminución en el nivel plasmático postprandial de glucosa

- Un menor nivel plasmático de colesterol al aumentar la excreción de ácidos biliares (14)
 - Una disminución en la síntesis de lipoproteínas de baja densidad debido a que por su gran capacidad de ser fermentadas, propician la producción de ácidos grasos de cadena corta en el colon que, al ser absorbidos, modifican el metabolismo de los lípidos (48).
 - un efecto de saciedad más prolongado debido a que los valores de CAA y de viscosidad implican un retraso en el vaciamiento gástrico (95,96).
2. La fibra insoluble del *Psyllium plantago*, del aislado de fibra de soya, del aislado de fibra de nopal, del nopal deshidratado y del salvado de trigo podrá:
- Producir un aumento en el peso de las heces debido a que se incrementa el material no digerido, la masa bacteriana y la cantidad de agua absorbida, lo que favorece a su vez el incremento en la velocidad de tránsito intestinal al estimular el movimiento peristáltico del intestino (97). Estos dos efectos son sumamente importantes en los casos de desórdenes como constipación y estreñimiento, y son más evidentes cuando la fuente de fibra dietética presenta un tamaño de partícula >500 μm (98)
3. Por último, y debido a los efectos ya mencionados, los complementos de fibra elaborados a partir de glucomannan y *Psyllium plantago* podrán modular la

rapidez con la que el estómago se llena durante las comidas, lo que puede resultar muy útil en casos de sobrepeso y/u obesidad (98). Este efecto deberá ser evaluado en estudios a largo plazo para poder determinar la efectividad de cada fuente de fibra dietética.

Un estudio reciente (99) sugiere que el consumo de la fibra en cantidades elevadas es un riesgo por la posible disminución en la biodisponibilidad de minerales, especialmente zinc, hierro y calcio. La prueba que nos permite anticipar el comportamiento de la fibra a este respecto es la CIC (capacidad de Intercambio de cationes) ya que nos da una medida de la capacidad de las fibras para fijar los minerales. Las muestras con una menor CIC fueron el glucomannan y el *Psyllium plantago* con valores verdaderamente bajos, por lo que no representan un riesgo en la absorción de estos nutrimentos; mientras que las fibras de nopal deberán ingerirse con el previo conocimiento de los minerales que pueden aportar por sí mismas pues su análisis bromatológico sugiere una cantidad considerable de ellos. La CIC del salvado de trigo y del aislado de fibra de soya sugieren un efecto intermedio en este rubro. Sin embargo, debemos considerar los resultados de esta prueba con ciertas reservas ya que variantes como la cocción de los alimentos, e incluso la forma en que se combinan los alimentos entre sí, pueden afectar los resultados in vivo (40). Dado que la CIC es

considerada como sólo 1 de los mecanismos por los cuales la fibra dietética puede influir en la fijación de minerales, es frecuente encontrar una gran diferencia entre la CIC determinada *in vitro* y el valor real de ésta fijación, y su interpretación puede en consecuencia, perder más o menos validez. La absorción de cationes también parece ser importante en la formación de puentes catiónicos como un mecanismo para la absorción de ácidos biliares y ácidos grasos en el intestino grueso (100), cuyas consecuencias ya han sido mencionadas.

La investigación referente a la fibra había estado avanzando con cierta lentitud debido a dificultades para uniformar criterios en la definición de conceptos y técnicas de análisis. Afortunadamente, en los últimos años se ha avanzado cada día más en esta área de la investigación lo que permite formular hipótesis más claras acerca de los papeles de la fibra dietética en la nutrición (101). Por el momento, el presente estudio nos permite sugerir a los complementos a base de glucomannan y de *Psyllium plantago* como los más adecuados para provocar una mejora en el efecto de saciedad, en la respuesta glicémica a los alimentos, y en los niveles de colesterol; mientras que el salvado de trigo, el aislado de fibra de soya y las fibras de nopal darán a los complementos, además de estas propiedades, las relacionadas con un aumento en el peso de las heces. Estas propiedades son especialmente útiles en

individuos con problemas de sobrepeso, obesidad, diabetes, altos niveles de colesterol, constipación y estreñimiento. Sin embargo, es importante destacar que cualquier efecto fisiológico deberá ser buscado después de considerar primero, una modificación en la dieta o, en su defecto, el consejo de un especialista, ya sea un nutriólogo o un médico, para eliminar los riesgos de una mala administración de dichos complementos, los cuales se encuentran afortunada o desafortunadamente en el mercado dentro de la más amplia variedad de presentaciones.

APLICACIONES EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

El glucomannan es una muestra con enormes atractivos en el área de los jarabes bajos en calorías, refrescos con pulpa, jugos de verduras y hasta postres debido a que su capacidad de absorción de agua, así como su viscosidad, lo convierten en una muy buena opción.

Tanto el salvado de trigo como el *Psyllium plantago*, el nopal deshidratado, el aislado de soya, y el aislado de nopal pueden ser aprovechados como ingredientes altos en fibra en panificación, en la elaboración de productos

procesados como panqués, pastelillos, galletas, harinas preparadas, y en la elaboración de desayunos instantáneos. En caso de querer incrementar el contenido de fibra al mismo tiempo que otros nutrimentos como las proteínas, se puede pensar en el aislado de fibra de nopal, pero si se buscara enriquecer al producto en minerales, el nopal deshidratado representa una buena opción. Cabe mencionar en este punto que sería conveniente determinar el contenido de cada mineral en la muestra para asegurar un incremento en el o los minerales de interés. Las combinaciones son muchas y cada una dependerá de los objetivos que se persigan y de los resultados que se obtengan en formulaciones piloto en cuanto a las características sensoriales, pues un buen producto lo es en la medida que es aceptado por el público consumidor.

VI RECOMENDACIONES DE INVESTIGACIÓN A FUTURO

Las propiedades de la fibra dietética son numerosas y muy estudiadas, sin embargo, la mayoría de los estudios han sido realizados en países con características de población y patrones de alimentación diferentes a los de México, por lo que sugiero que en las investigaciones futuras se considere:

1. El desarrollo de productos que satisfagan las necesidades nutricionales del país; de acuerdo a las deficiencias de cada zona.
2. La elaboración de planes de educación nutricional permanentes tanto en áreas rurales como urbanas para lograr una mejor alimentación.
3. Continuar los estudios *in vivo* a cerca de las propiedades de la fibra dietética tanto con fines preventivos como terapéuticos.
4. La obtención de nuevos aislados de fibra dietética a partir de productos mexicanos.

VII REFERENCIAS

1. Rosado JL. Fibra dietética: definición, propiedades fisicoquímicas y fisiológicas y sus implicaciones en la salud. Progr INN, Serie Educación, Comunidad y Salud Pública. México, 1989 No. 5.
2. Hipsley EH. Dietary fiber and pregnancy toxemia. Br Med J, 1953; 2: 420-422.
3. Mc Cance RA, Lawrence RD. The carbohydrate content of foods. Spec Rep Ser Med Res Council, 1929; no. 135. HMSO, London.
4. Trowell HC. Ischemic heart disease and dietary fiber. Am J Nutr, 1972; 25: 926-932.
5. Trowell HC. Dietary fiber redefined. Lancet, 1976; i 967.
6. Saunders RM, Betschart AA. The significance of protein as a component of dietary fiber. Am J Clin Nutr, 1980; 33: 960-961.
7. Asp NG. Dietary fiber: Definition, chemistry and analytical determination. Molec Aspects Med, 1987; 9: 17-29.
8. Cummings J. Dietary fiber. Br Med Bull, 1981; 37: 65-70.
9. Levitt MD. Malabsorption of starch: a normal phenomenon. Gastroenterology, 1983; 85: 769-770.
10. Stephen AM, Haddad AC, Phillips SF. Passage of carbohydrate into the colon. Direct measurement in humans. Gastroenterology, 1983; 85: 589-595.

11. Burkitt DP, Trowell H. Refined carbohydrates foods and disease. USA, 1975. Academic Press, New York, pp 158-164.
12. Fennema OR. Química de los alimentos. España, 1993. Editorial acribia, 2ª edición, pag 85-88, 961-1024.
13. Schneeman BO. Soluble vs insoluble fiber. Different physiological responses. Food Tech, 1987 (feb): 81-82.
14. Kern F, Birkner HJ, Ostrower VS. Binding of bile acids by dietary fiber. Am J Clin Nutr, 1978; 31: 175-179.
15. Fratti-Munari AC, Fernández-Harp JA, Becerril M, Chávez-Negrete A, Bañales-Ham M. Disminución de lípidos séricos, glucemia y peso corporal por plantago psyllium en obesos y diabéticos. Arch Invest Med (Mex) 1983; 14: 259-268.
16. Sosulski FW, Cadden AM. Composition and physiological properties of several sources of dietary fiber. J Food Sci, 1982; 47:1772-1777.
17. Adlomatre J, Eastwood MA, Edwards CA, Gordon BW. Dietary fiber: in vitro methods that anticipate nutrition and metabolic activity in humans. Am J Clin Nutr, 1990; 52: 128-134.
18. Mc Burney MI, Van Soest PJ, Chase LE. Cation exchange capacity and buffering capacity of neutral-detergent fibers. J Sci Food Agric, 1983; 34: 910-916.

19. Stone-Dorshow T, Levitt MD. Gaseous response to ingestion of a poorly absorbed fructo-oligosaccharide sweetener. *Am J Clin Nutr*, 1987;46: 61-65.
20. Fredstrom SB, Lampe JW, Jung HJ, Slavin JL. Apparent fiber digestibility and faecal short-chain fatty acids concentrations with ingestion of two types of dietary fiber. *JPEN*, 1994; 18 (1): 14-18.
21. Leslie D, Bourquin LD, Titgemeyer EC, Fahey GC. Vegetable fiber fermentation by human faecal bacteria: cell wall polysaccharide disappearance and SCFA production during in vitro fermentation and water holding capacity of unfermented residues. *J Nutr*, 1993; 123 (5): 860-869.
22. Parrot M, Thrall B. Functional properties of various fibers: physical properties. *J Food Sci*, 1978; 43:759-763.
23. Southgate DAT. Determination of food carbohydrates. England, 1976. Applied Sci Pub. pp 375-388
24. Southgate D A T. Definitions and terminology of dietary fiber. In: Vahouny GV, Kritchevsky D (Eds), *Dietary fiber in health and disease*. USA, 1982, Plenum Press, NY, pp 232-261
25. Thibault JF, Lahaye M, Guillon F. Physicochemical properties of food plant cell walls. In: Schweizer TF, Edwards CA (Eds), *Dietary fiber; a component of food: Nutritional function in health and disease*. Springer Verlag London Ltd, 1992; pp 21-39.

26. Reinhold JG, Faradi B, Abadi P, Ismail-Beigi F. Decreased absorption of Ca, Mg, Zn and P by humans due to increased fiber and phosphate consumption as wheat bread. *J Nutr*, 1976; 106: 493-496.
27. Rendleman JA, Grobe CA. Cereal complexes: binding of zinc by bran and components of bran. *Cereal Chem*, 1982; 59: 310-314.
28. Nagyvary J, Bradbury EL. Hypocholesterolemic effects of Al³⁺ complexes. *Biochim Biophys Res Comm*; 1977; 77: 592-598.
29. Chen JY, Piva M, Labuza TP. Evaluation of water binding capacity of food fiber sources. *J Food Sci*, 1984; 49: 59-67.
30. Eastwood MA, Brydon WG. Physiological effect of dietary fiber in the alimentary tract. In: Trowell H, Burkitt DP, Heaton K (Eds), *Dietary fiber, fiber depleted foods and disease*. Academic Press Inc, London, 1985, pp 105-135.
31. Eastwood MA. Physical properties of fiber towards bile acids, water and minerals. In: Birch GG, Parker KJ (Eds), *Dietary fiber*. Applied Sci Publishers, London, 1983; pp 149-163.
32. Kritchevsky D. Dietary fiber. *Am Rev Nutr*, 1988; 8: 301-328.
33. Vahouny GV, Cassidy M. Dietary fibers and absorption of nutrients. *Proc Soc Exp Biol Med*, 1985; 180: 432-446.
34. Eastwood MA, Mowbray L. The binding of components of mixed micelles to dietary fibers. *Am J Clin Nutr*, 1976; 29: 1461-1467.

35. Vahouny GV, Thombes R, Cassidy M, Kritchevsky D, Gallo LL. Dietary fibers. VI. Binding of fatty acids and mono-olein from mixed micelles containing bile salts and lecithin. Proc Soc Exp Biol Med, 1981; 166: 12-16.
36. Story JA, Kritchevsky D. Comparison of the binding of various bile acids and bile salts in vitro to several types of fiber. J Nutr, 1976; 106: 1292-1294.
37. Eastwood MA, Hamilton D. Studies on the absorption of bile salts to non-absorbed components of the diet. Biochem Biophys Acta, 1968; 152: 165-173.
38. García MJ, Charlez M, Faul C, del Pozo Carrascosa A, Ghirardi PE. Physicochemical comparison of the dietary fibers glucomannan, galactomannan, CMC, pectin, and wheat bran. Curr Ther Res, 1988; 43 (6): 1010-1012.
39. Schneeman BO. Soluble vs insoluble fiber. Different physiological responses. Food Tech, 1987; 41: 81-82.
40. Dreher ML. Handbook of dietary fiber: an applied approach. USA, 1987. Marcel Dreher, New York.
41. Rasper VF. Chemical and physical characteristics of dietary fibers. In: Inglett GE, Falkehag SI (Eds), Dietary fibers: Chemistry and nutrition. Academic Press, NY; pp 93-115.
42. Rasper VF. Chemical and physical properties of dietary cereal fiber. Food Tech, 1979; 33: 40-44.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

43. Walsh DE, Yaghoubian V, Berforooz A. Effect of glucomanano on obese patients: a clinical study. *Journal of Obesity*, 1984; 8: 289-293.
44. Trowell H. Diabetes mellitus and obesity . In: Burkitt DP, Trowell HC (Eds), *Refined carbohydrates foods and disease. Some implications of dietary fiber.* England, 1975. Academic Press, London, pp 227-249.
45. Fratti-Munari AC, Castillo-Insunza MR, De la Riva-Pinal H, Ariza-Andraca CR, Bañales-Ham M. Efecto del mucilago de plantago psyllium en la prueba de tolerancia a la glucosa. *Arch Invest Med (Mex)*, 1985; 16: 191-197.
46. Fratti-Munari AC, Fernández-Harp JA, De la Riva H, Ariza-Andraca R, Torres MC. Efecto del nopal (*Opuntia sp*) sobre lípidos séricos, la glucemia y el peso corporal. *Arch Invest Med (Mex)*, 1983; 14: 117-125.
47. Fratti-Munari AC, Flores Garduño MA, Ariza-Andraca R, Islas-Andrade S, Chávez-Negrete A. Efecto de diferentes dosis de mucilago de plantago psyllium en la prueba de tolerancia a la glucosa. *Arch Invest Med (Mex)*, 1989; 20: 147-151.
48. Rosado JL. Efecto de la ingestión de fibra dietética en el metabolismo de los lípidos. *Ateroma*, 1990; 2 (7): 73-78.
49. Eder HA, Gidez LI. The clinical significance of plasma high density lipoproteins. *Med Clin North Am* , 1982; 66: 431-440.

50. Burr ML, Sweetnam PM. Vegetarianism, dietary fiber and mortality. *Am J Clin Nutr*, 1982; 36: 873-877.
51. Brown WB, Karmaly W. Coronary heart disease and the consumption of diets high wheat and other grains. *Am J Clin Nutr*, 1985; 41: 1163-1171.
52. Cummings JH. Short Chain Fatty Acids in the human colon. *Gut*, 1981; 22: 763-769.
53. Chen WJL, Anderson JW, Jenkins D. Propionate may mediate the hypocholesterolemic effect of certain soluble plant fiber in cholesterol fed rats. *Proc Soc Exp Biol Med*, 1984; 175: 215-218.
54. Chen WJL, Anderson JW. Hypocholesterol effect of soluble fibers. In: Vahouny GV, Kritchevsky D (Eds), *Dietary fiber basic and clinical aspects*. USA, 1986; Plenum Press, New York. pp 275-286.
55. Read NW, Miles LA, Fisher D. Transit of a meal through the stomach, small intestine and colon in normal subjects and its role in the pathogenesis of diarrhea. *Gastroenterology*, 1980; 79: 1276-1282.
56. Painter N. Diverticular disease of the colon. In: Trowell H, Burkitt D, Heaton K, (Eds), *Dietary fiber, fiber-depleted foods and disease*. Academic Press, London, 1985; 145-160.

57. Bingham SA: Epidemiology of dietary fiber and colon-rectal cancer: current status of the hypothesis. In: Vahouny GV, Kritchevsky D (Eds), Dietary fiber, basic and clinical aspects. USA, 1986, Plenum Press NY; pp 512-523.
58. Kritchevsky D. Fiber and cancer. In: Vahouny GV, Kritchevsky D (Eds), Dietary fiber, basic and clinical aspects. USA, 1986; Plenum Press NY; pp 127-132.
59. Bingham SA. Epidemiology of dietary fiber and colonrectal cancer: current status of the hypothesis. En: Vahouny GV, Kritchevsky D. (Eds). Dietary fiber, basic and clinical aspects. Plenum Press, NY, 1986, pp 523-542.
60. Brigh-See E, Mckeown-Eyssen GE. Estimation of per capita crude and dietary fiber supply in 38 countries. Am J Clin Nutr, 1984; 39: 821-829.
61. Batrouni LK, Chávez A. Modernización de la dieta urbana y enfermedades cardiovasculares. Rev Inv Clin (Mex), 1986; supl 38: 21-26.
62. Rosado JL, López P, López G, Madrigal H, Huerta Z. Consumption of dietary fiber in rural Mexico. Ecol Food Nutr, 1995;34: 129-136.
63. Rosado JL, López P, Huerta Z, Muñoz E, Mejía L. Dietary fiber in Mexican foods. J Food Composition and Anal, 1993; 6: 215-22.
64. Vetter JI. Fiber as a food ingredient. Food Tech, 1984; 38: 64-69.
65. Andon SA. Applications of soluble dietary fiber. Food Tech, 1987: 74-75.
66. Anderson DMW: Evidence of safety of gum arabic as a food additive: A brief review. Food Additives and Contaminants, 1986; 3 (3): 225.

67. Sharma SC. Gums and hydrocolloids in oil-water emulsions. *Food Tech*, 1981; 35 (1): 59-67.
68. Frost J, Hegedus EF, Glicksman M. Objective characterization of hydrocolloid organoleptic properties. *Food Tech*, 1984; 38 (1): 118-122.
69. Szczesniak AS, Farkas E. Objective characterization of the mouthfeel of gums solutions. *J Food Sci*, 1962; 27 (4): 381-386.
70. Kokini JL. Fluid and semisolid food texture and texture-taste interactions. *Food Tech* 1985; 39 (11): 86-94.
71. Santillán DM. Obtención de un aislado de fibra a partir del nopal. tesis de maestría. Facultad de Química UNAM. (en impresión).
72. Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*. 15^a ed. Arlington, Va, USA, 1990.
73. Prosky L, Asp N-G, Schweiser TF, DeVries JW, Furda I. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in food and food products: Interlaboratory study. *J Assoc Off Anal Chem*, 1988; 71(5): 1017-1023.
74. Mc Conell AA, Eastwood MA, Michel WD. Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. *J Sci Food Agric*, 1974; 25: 1457-1464
75. Michel F, Thibault JF, Barry JL. Preparation and characterization of dietary fiber from sugar beet pulp. *J Sci Food Agric*, 1988; 42: 77-85.

76. Levitt MD, Hirsch P, Fetzer CA, Sheenan M, Levine AS. H₂ excretion after ingestion of complex carbohydrates. *Gastroenterology*, 1987; 92: 383-389.
77. Robertson JA, Eastwood MA, Yeoman M. An investigation into the physical properties of fiber prepared from several carrot varieties at different stages of development. *J Sci Food Agric*, 1980; 31: 633-638.
78. Schaller DR, AACC Committee on dietary fiber. Collaborative study of analytical method for insoluble dietary fiber in cereals. *Cereals Food World*, 1981; 26 (6): 295-297.
79. García-Vela S. Water holding capacity in hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris*): effect of pH and ionic strength. *J Food Sci*, 1989; 54 (4): 1080-1081.
80. Holloway G. Water holding capacity of hemicelluloses from fruits, vegetables and wheat bran. *J Food Sci*, 1984; 49: 1632-1633.
81. Chen JY, Piva M, Labuza TP. Evaluation of water binding capacity (WBC) of food fiber sources. *J Food Sci*, 1984; 49: 59-63.
82. Fleury N, Lahaye M. Chemical and physicochemical characterization of fibers from "laminaria digitata" (Kombu Breton): a physiological approach. *J Sci Food Agric*, 1991; 55: 389-400.
83. Charlez M. Estudio comparativo de la viscosidad de diferentes polisacáridos no asimilables y su volumen de gelificación. *Premiers Entretiens of Phytomedicine*; Marruecos, 1989; 27-28.

84. Matsura KDM, Tomofuji Y, Saeki S, Venoyama R, Baba S. Fibra dietética en el tratamiento de diabetes mellitus. Editado por Armstrong Laboratories, México, 1994.
85. Doi K, Matsuura M, Kawara A, Venoyama R, Baba S. Efecto del glucomanano sobre el metabolismo de los lípidos en los sujetos normales y diabéticos. Editado por Armstrong Laboratories, México, 1994.
86. Lazlo JA. Mineral binding properties of soy hull. Modeling mineral interactions with an insoluble dietary fiber source. *J Agric Food Chem*, 1987; 35: 593-600.
87. Mortensen PB, Holtug K, Rasmussen HS. SCFA production from mono and disaccharides in a fecal incubation system. Implications for colonic fermentation of dietary fiber in humans. *J Nutr*, 1988; 321-325.
88. Titgemeyer EC, Bourquin LD, Fahey GC, Garleb KA. Fermentability of various fiber sources by human fecal bacteria in vitro. *Am J Clin Nutr*; 1991, 53: 1418-1424.
89. Clausen MR, Bonnén H, Tvede M, Mortensen PB: Colonic fermentation to SCFA is decreased in antibiotic-associated diarrhea. *Gastroenterology*, 1991; 101: 1497-1504.
90. Rosado JL, López P, Morales M, Allen LH. Fiber digestibility and breath H₂ excretion in subjects consuming rural and urban Mexican diets. *Am J Clin Nutr*, 1991; 53: 55-60.

91. Van Soest P, Horvath P, Mc Burney M, Jerasi J, Allen M. Some "in vivo" and "in vitro" properties of dietary fibers from non-cereal sources. In: Furda I (Ed.), Unconventional sources of dietary fiber. American Chemical Society, Washington, D.C.; 1983, pp 135-144.
92. Perman JA, Modler S, Olson AC. Role of pH in production of Hydrogen from carbohydrates by colonic bacterial flora. *J Clin Invest*, 1981; 67: 643-650.
93. Eastwood MA, Morris ER. Physical properties of dietary fiber that influence physiological function: a model for polymers along the gastrointestinal tract. *Am J Clin Nutr*, 1992; 55: 436-442.
94. O'Dea K, Nestel PJ, Lynne A. Physical factor influencing postprandial glucose and insulin responses to starch. *Am J Clin Nutr*, 1980; 33: 60-65.
95. Porikos K, Hageman S. Is fiber satiating?. *Apetite*, 1986; 7: 153-162.
96. Bueno L, Praddaude F, Fioramenti J, Buckebusch Y. Effect of dietary fiber on gastrointestinal motility and jejunal transit time in dogs. *Gastroenterology*, 1981; 80: 701-707.
97. Wrick KJ, Robertson JB, Van Soest PJ, Lewis BA, Rivers JM, Roe DA. The influence of dietary fiber source on human intestinal transit and stool output. *J Nutr*, 1983; 113: 1464-1479.
98. Schneeman OB. Dietary fiber: physical and chemical properties; methods of analysis, and physiological effects. *Food Tech*, 1986; 40: 104-110.

99. Rosado JL, López P, Morales M, Muñoz E, Allen LH. Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. *Br J Nutr*, 1992; 68: 45-58.
100. Van Soest P, Horvath P, Mc Burney M, Jerasi J, Allen M. Some "in vivo" and "in vitro" properties of dietary fibers from non-cereal sources. In: Furda I (Ed.) *Unconventional sources of dietary fiber*. American Chemical Society, Washington, D.C.; 1983, pp 135-144.
101. Carter EA, Cohen S, Isselbacher KJ, Walken WA. Use of Hydrogen gas (H₂) analysis to assess the intestinal absorption. *Gastroenterology*, 1981; 81: 1091-1097.
102. Potter T, Ellis C, Levitt M. Activated charcoal: in vivo and in vitro studies of effect on gas formation. *Gastroenterology*, 1985; 88: 620-624.