

Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria

Matos-Chamorro, Alfredo¹; Chambilla-Mamani, Elmer²

Resumen

El objetivo de esta revisión es destacar la importancia de la fibra, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria de alimentos. La fibra dietética es la fracción de la pared celular de las plantas compuestas por la lignina y polisacáridos no almidónicos, resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas del ser humano. Se clasifica en base a su solubilidad en agua como fibra soluble e insoluble. La fibra soluble contiene mayoritariamente pectinas, gomas y algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos) y la fibra insoluble contiene celulosa, lignina y algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos). Las propiedades funcionales tecnológicas que presenta la fibra dietética como la capacidad de retención de agua y aceite, tienen efectos benéficos en los productos alimentarios y efectos fisiológicos en el organismo del ser humano. Su consumo previene distintas enfermedades como el cáncer del colon, diabetes, enfermedades cardiovasculares, ayuda a la disminución del colesterol, etc. El contenido de fibra dietética se encuentra mayormente en las frutas y hortalizas así como en sus subproductos, como las cáscaras y hojas, las cuales pueden ser aprovechadas mediante procesos tecnológicos para la obtención de fibra dietética.

Palabras Clave: Fibra dietética, propiedades funcionales, fibra soluble, fibra insoluble, hemicelulosas.

Importance of Dietary Fiber, their Functional Properties in Food and Food Industry

Abstract

The aim of this review is to highlight the importance of fiber in terms of its functional properties in food and the food industry. Dietary fiber is the fraction of the plant cell wall composed of lignin and non-starch polysaccharides, resistant to hydrolysis by the digestive enzymes of humans. Based on its solubility in water fiber is classified as either soluble or insoluble. Soluble fiber consists mainly of pectin, gums and some hemicelluloses (arabinoxylans and arabinogalactans) while insoluble fiber contains cellulose, lignin and some hemicelluloses (arabinoxylans and arabinogalactans). Technological functional properties of dietary fiber have the ability to retain water and oil, have beneficial effects on food products and physiological effects in humans. Its use prevents various diseases such as colon cancer, diabetes, cardiovascular disease and among other things, helps lower cholesterol. The content of dietary fiber is found mostly in fruits and vegetables and their products such as husks and leaves, which can be exploited by technological processes to obtain dietary fiber.

Keywords: Dietary fiber, functional properties, soluble fiber, insoluble fiber, hemicellulose.

Introducción

La carencia de fibra dietética en la dieta del hombre, es un factor causal de numerosas enfermedades denominadas "enfermedades de la civilización", como la diabetes, obesidad, diverticulosis, las enfermedades cardiovasculares, etc. (Sáenz y otros 2002).

Actualmente se dispone de diversas fuentes de fibra dietética, como los cereales, granos, vegetales, frutas y legumbres, las cuales pueden ser consumidas de manera directa o transformadas en productos ricos en fibra. Su importancia radica en las propiedades fisiológicas en el organismo, ayudando a prevenir la presencia de las enfermedades silenciosas, así como, los efectos que tiene las propiedades funcionales tecnológicas en los productos alimentarios, mejorando las características organolépticas.

¹Universidad Peruana Unión. alfredom@upeu.edu.pe

²E.A.P. de Ingeniería de Alimentos, Universidad Peruana Unión. elmer_6387@upeu.edu.pe

Mediante este trabajo de revisión se pretende destacar la importancia del consumo de la fibra dietética para la salud del ser humano, así como, destacar las propiedades funcionales tecnológicas en la industria alimentaria.

Fibra Dietética

La fibra es la suma de la lignina y polisacáridos no almidónicos (celulosa, hemicelulosa, pectinas, gomas y mucilagos) de las plantas (Cummings, citado por Anguera 2007, p. 49). Es la fracción de la pared celular de las plantas, resistente a la hidrólisis por las enzimas digestivas del ser humano (Trowell, citado por Anguera 2007, p. 49), pero son fermentados por la microflora colónica y excretados por las heces (Lee y otros, citados por Anguera 2007, p. 50).

Escudero (2006) añade a la definición de la fibra dietética el nuevo concepto de fibra funcional, que incluye otros hidratos de carbono resistentes a la digestión de las enzimas del tracto intestinal humano, como el almidón resistente, la inulina, diversos oligosacáridos (fructooligosacáridos, galactooligosacáridos y xilooligosacáridos) y disacáridos como la lactulosa, definiendo como fibra total a la suma de fibra dietética y más fibra funcional. Es decir, que ésta contenga componentes o elementos fisiológicamente activos (García y otros 2008).

Clasificación de la fibra dietética

La fibra dietética puede clasificarse de acuerdo a su solubilidad en agua como solubles e insolubles. Sus propiedades y efectos fisiológicos están determinados principalmente por las proporciones que guardan estas dos fracciones, sin importar su origen (López y Marcos, citado por Sánchez 2005, p. 7).

Fibra Soluble. La fibra soluble (FS) forma una dispersión en agua; la cuál conlleva a la formación de geles viscosos en el tracto gastrointestinal, que tienen la propiedad de retardar la evacuación gástrica, puede ser saludable en algunos casos, haciendo más eficiente la digestión y absorción de alimentos y generando mayor saciedad. Este tipo de fibra es altamente fermentable y se asocia con

el metabolismo de carbohidratos y lípidos (De La Llave 2004, p. 6). La fibra soluble contiene mayoritariamente, polisacáridos no-celulósicos tales como la pectina, gomas, algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos) y mucilagos (Córdoba 2005, p. 13). Esta fibra se encuentra en altas concentraciones en frutas y algas marinas (Lajolo y otros 2001).

Fibra Insoluble. La fibra insoluble (FI) aumenta el volumen de las heces hasta 20 veces su peso, debido a su capacidad de retención de agua, y se relaciona con la protección y alivio de algunos trastornos digestivos como estreñimiento y constipación (Zambrano y otros 1998). Esta fibra no se dispersa en agua, esta compuesto de celulosa, hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos) y ligninas (Priego 2007, p. 13). Las fuentes de este tipo de fibra se pueden encontrar mayoritariamente en verduras, cereales, leguminosas y en frutas (Nelson, citado por Zúñiga 2005, p. 20).

Composición de la fibra dietética

Cerca del 75% de la fibra dietética en los alimentos esta presente en la forma de fibra insoluble, sin embargo, la mayoría de las fuentes de fibra en la actualidad son mezclas de ambas fibras, insolubles y soluble (Dreher, citado por Córdoba 2005, p. 15). En la tabla 1 se muestra los polisacáridos que contribuyen a la estructura de los diferentes componentes de la fibra.

Polisacáridos no almidónicos

Los polisacáridos no almidónicos están constituidos por cientos de unidades de monosacáridos. Varían dependiendo del número y la variedad de monosacáridos, del orden en las cadenas de polímeros y del tipo de enlaces (García y otros 2008, p. 10).

Celulosa. Está compuesta de restos de β -glucopiranososa (Figura 1) y es el componente principal de las paredes de las células vegetales, donde se encuentra asociada a la hemicelulosa, pectina y lignina (Córdoba 2005, p. 15).

Hemicelulosa. Es ampliamente distribuida en las

Tabla 1 - Polisacáridos de la pared celular de las plantas

| Categoría general | Clasificación estructural |
|---------------------|--|
| Celulosa | β -D-glucanos (uniones en C4) |
| Sustancias pécticas | Galacturonas y ramnogalacturonas Arabinanos Galactanas y arabinogalactanas I ⁽¹⁾ |
| Hemicelulosas | Xilanos (incluyen arabinoxilanos y cadenas con grupos 4-O-metil) y glucuronoxilanos β -D-glucanos (uniones en C3 y C4) Xiloglucanos (D-glucanos unidos por C4, con cadenas laterales adjuntas) |
| Otros polisacáridos | Arabinogalactanas II ⁽¹⁾ Glucuronomannanas |

⁽¹⁾ Arabinogalactanas del tipo I son esencialmente lineales y contienen cadenas de β -D-galactanas con uniones en C4, mientras que las de tipo II contienen cadenas ramificadas de β -D-galactanas con uniones en C3 y C6.

Fuente: Aspinall (citado por Córdoba 2005)

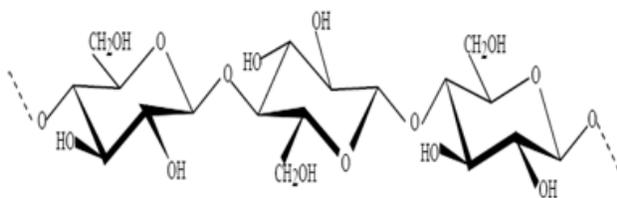


Figura 1 - Unidad estructural básica de la celulosa, compuesta de restos de β -glucopiranosos unidos por enlaces (1-4) (Córdoba 2005)

plantas, incluye las sustancias que rellenan los espacios existentes entre las fibrillas de celulosa en las paredes celulares vegetales, por lo que actúan como material de soporte para mantener las células juntas. La hemicelulosa está constituida por pentosas y hexosas distribuidas de forma ramificada y lineal conformando polímeros tipo polisacáridos denominados no-celulósicos (Figura 2). La hemicelulosa tiene un peso molecular menor que la celulosa y contiene como azúcares constitutivos a la xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa, ácido glucurónico y ácido galacturónico (Lineback, citado por Córdoba 2005, p. 16). Normalmente es insoluble, pero en

condiciones especiales puede ser parcialmente soluble. Se clasifican de acuerdo al monómero del carbohidrato con mayor predominio (Tabla 1).

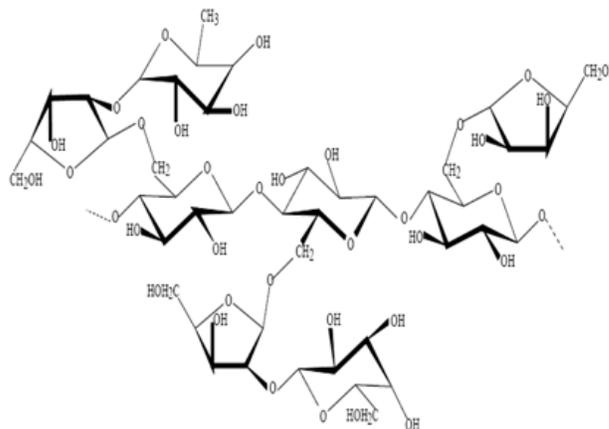


Figura 2 - Estructura básica de hemicelulosa (Belitz y Grosch 1997)

Los xilanos son los polímeros con la mayor distribución y presencia como componente hemicelulósico de la pared celular. La cadena básica de los xilanos está compuesta de α -D-xilosa con uniones 1-4 y uniones unitarias a unidades de ácido (4-O-metil)- α -D-glucopiranosilurónico y α -L-arabinofuranosa. Esta última unidad puede estar a su vez sustituida conformando una cadena ramificada con componentes que pueden comprender a la D-galactosa, L-galactosa y D-xilosa. Un ejemplo de la complejidad estructural de las hemicelulosas puede observarse con los xiloglucanos (Figura 2), que pueden encontrarse en manzana, patatas y judías, entre otros (Córdoba 2005, p. 16).

Los arabinoxilanos solubles en agua (pentosanos) tienen una importancia funcional por su capacidad de "ligar" agua y la habilidad de incrementar la viscosidad (Lineback, citado por Córdoba 2005, p. 17), aspecto importante en la elaboración de las masas de bollería (Dreher, citado por Córdoba 2005). Por su parte, la fracción insoluble aporta otras características más adecuadas para otro tipo de productos, como las galletas, a las que confiere características de más seco y menos elástico del producto (Jeltema y Zabik, citados por Córdoba 2005, p. 17).

Pectina. Tiene amplio uso industrial, conocido por su capacidad de ligar agua es utilizada en la industria de alimentos como agente gelificante, espesante y agente que ayuda a mantener ciertas suspensiones. Se obtiene, fundamentalmente de los cítricos y de restos de manzana, que las contienen en un 20-40% y 10-20% de la materia seca (Belitz y Grosch 1997).

Su estructura básica se compone de unidades repetitivas de ácido α -D-galacturónico con uniones (1-4) (Figura 3). La ramnosa también puede estar presente en la cadena principal de la pectina en un 10%, junto con las cadenas laterales que contienen pequeñas cantidades de azúcares neutros como galactosa, arabinosa y xilosa (Aspinall, citado por Córdoba 2005, p. 17-18).

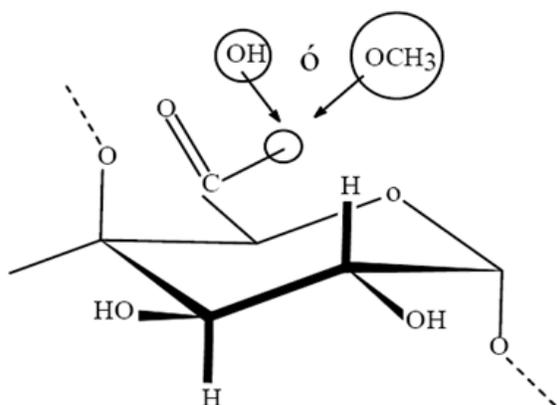


Figura 3 - Unidad básica de la molécula de pectina, ácido galacturónico, en el cual puede estar presente el grupo $-OCH_3$ que determina el grado de metilación (GM) de la pectina (Córdoba 2005)

Los grupos metílicos esterificados en el grupo carboxilo de la cadena principal determinan el tiempo y velocidad relativa de melificación y la fuerza del gel de pectina. El grado de metilación (GM) se utiliza como criterio para su clasificación en bajo metoxilo (LM) o alto metoxilo (HM) según sea el GM menor o mayor al 50%, respectivamente. Las pectinas HM tienen una clasificación comercial adicional de acuerdo al tiempo de gelificación en lentas, medianas o rápidas. Las de gelificación rápida tienen un 75%

GM y las de gelificación lenta cerca de un 60% GM. Generalmente, las pectinas de gelificación lenta se utilizan para productos de confitería, dulces y las de gelificación rápida en productos como mermeladas donde se quiere asegurar la distribución uniforme de las partículas de fruta presentes en suspensión (Córdoba 2005, p. 19).

Gomas. Las gomas tienen la propiedad básica de espesar o aumentar la viscosidad, también puede actuar como agente gelificante. Se utilizan en forma extensiva en productos con bajos niveles de partículas (menor del 2%), para emulsionar grasa, inhibir la cristalización del hielo, inhibir la sinerisis, formación de films, e imitar o simular las propiedades de la grasa. Su uso a altos niveles (>10%) tiende a ser limitado con algunas excepciones (Córdoba 2005, p. 19).

Están formadas por polisacáridos ácidos complejos que contienen diversos azúcares tipo galactosa, arabinosa, manosa, xilosa, ramnosa y ácidos glucurónico y galacturónico. Dentro del grupo de fibras solubles se encuentran también otras gomas, las cuales comprenden hidrocoloides diversos como alginatos, carragenatos, goma de garrofin, guar, konjac, arábica, karaya, tragacanto, xantana, gelana, etc. (Mateu 2004, p. 4).

Mucilagos. Son polisacáridos hidrosolubles presentes en muchas semillas, capaces de absorber 60-100 veces su peso en agua formando geles. Están formados por cadenas de arabinoxilanos muy ramificados (Molina y Paz 2007, p. 72). Los mucilagos son parecidos a las gomas, están compuestos por galactosas, manosas, xilosa y otros azúcares. Uno de los mucilagos más conocidos es la ispágula (psyllium) o también llamada llantén, proveniente de las semillas del género plantago. Los mucilagos extraídos de algas contienen azúcares algo distintos a la de los vegetales terrestres, como son la agarobiosa en el agar y los sulfoazúcares en las carrageninas, utilizadas en la tecnología de alimentos (Mateu 2004, p. 4).

Inulina y Oligofruktuosa

Molina y Paz (2007) menciona que la inulina es un

hidrato de carbono de reserva de las plantas y muy en particular en las gramíneas (plantas herbáceas) y plantas compuestas (ajos, alcahofas, etc.). Se componen de una cadena de unidades de fructosa (2-60) con una unidad de glucosa terminal (Figura 3). La oligofructosa tiene la misma estructura que la inulina, pero las cadenas tienen diez o menos unidades de fructosa.

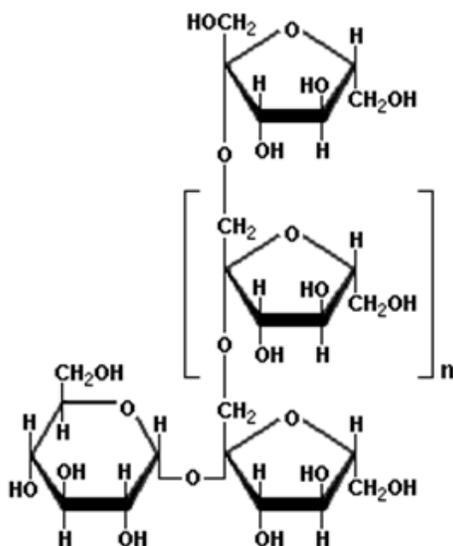


Figura 3 – Estructura de la inulina (Molina y Paz 2007)

La oligofructosa (FOS) se define como una fracción de oligosacáridos con grado de polimerización menor de 20, aunque los productos comerciales suelen tener un valor medio de 9 (fructooligosacáridos). Los fructooligosacáridos se obtienen a escala industrial por medio de procesos enzimáticos a partir de la sacarosa, partiendo de un jarabe obtenido de remolachas que presenta una conversión enzimática a través de la enzima fructosilfuranosidasa que se extrae del microorganismo *Aspergillus niger* (Molina y Paz 2007)

La inulina y la oligofructosa no se digieren en el intestino delgado; sin embargo, no afecta a la absorción de lípidos, calcio, magnesio, cinc o hierro. En cambio, la inulina y la oligofructosa sí que son digeridas en el colon, incrementando la masa bifidobacteriana y la producción de ácidos grasos de cadena corta. Se comprobó que la fibra soluble no tenía efecto negativo en la absorción

de minerales, por el contrario, un efecto ligeramente positivo (Molina y Paz 2007).

Lignina

Fennema (2000) describe a la lignina como la más hidrófoba de los componentes de la fibra y que este no es un hidrato de carbono, esta compuesto por unidades de fenilpropano que forman una matriz a base de la condensación de tres alcoholes fenólicos primarios (coniferil, sinapil, y p-coumaril alcoholes). La lignificación de las paredes celulares en especial del xilema y el esclerenquima imparte rigidez y dureza a estos tejidos. Por lo tanto, cuando un vegetal se encuentra maduro, ésta se hace más rica en lignina y pierde progresivamente la capacidad de retener agua.

Almidón Resistente (Ar)

Es la suma de almidón y de los productos procedentes de la degradación del almidón que no son digeridos en el intestino de los individuos sanos (Englyst y otros, citados por Anguera 2007, p. 52) y sufren la fermentación en el colon. Sin embargo, una pequeña proporción escapa a la degradación y es eliminada por las heces (Cummings y otros, citados por Anguera 2007, p. 52).

Según Baixauli (2007, p. 31) los almidones resistentes (AR) no se hidrolizan en la etapa de la digestión humana. Esto es porque las enzimas digestivos no son capaces de penetrar el polímero lineal de amilosa que se encuentra en este tipo de almidón con alto contenido en amilosa.

Propiedades Funcionales Tecnológicas de la Fibra Dietética

Denominadas así por su asociación a los efectos deseables en los productos alimentarios y con efectos fisiológicos benéficos en el organismo (Fleury y Lahaye, citados por Zúñiga 2005, p. 21), entre ellas se pueden citar:

Tamaño de partícula

Dependiendo de la granulometría de la fibra, será el tipo de alimento o proceso en el cual se

incorporará. La fibra fina (de tres a cinco micrómetros) puede emplearse como sustituto de grasas, las de mayor tamaño se aplican en hojuelas de maíz y en productos donde su textura lo permita (Cruz 2002, p. 20). Fuertes (1998) señala que el tamaño ideal de partículas de fibra para consumo humano se ubica en un rango de 50 a 500 μm ; tamaños mayores pueden afectar la apariencia del producto e impartir una sensación fibrosa dificultando la masticación y deglución, tamaños menores pueden presentar problemas en la hidratación al favorecerse la formación de grumos, ocasionar apelmazamiento y por lo tanto compresión del producto. En un estudio realizado por Sangnark y Noomhorm (citados por Sánchez 2005, p. 13) específicamente con bagazo de caña, se encontró que una disminución en el tamaño de partícula puede tener influencia en el incremento de la densidad y podría reducir la capacidad de retención de agua y de ligar aceite (debido posiblemente a la ausencia de una estructura matricial proporcionada por la celulosa, entre otros factores); en consecuencia, se afecta fisiológicamente el tránsito intestinal al decrecer el volumen de la masa fecal. Este comportamiento también fue observado por Dreher (citado por Sánchez 2005, p. 13) al disminuir el tamaño de partícula del salvado de trigo.

Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRAg), expresa la máxima cantidad de agua, en ml, que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de agua bajo la acción de una fuerza patrón. Los resultados se expresan en mililitros de agua por gramo de muestra seca (Scheeman, citado por Zúñiga 2005, p. 21). De esta propiedad depende el efecto fisiológico de la fibra y el nivel máximo de incorporación a un alimento (Zambrano y otros 1998). La retención de agua afecta la viscosidad de los productos facilitando o dificultando su procesamiento. Entre los factores que influyen en la capacidad de retención de agua en la fibra, se encuentran el tamaño de partícula, el pH y la fuerza iónica (Baquero y Bermúdez 1998). Esta propiedad confiere un efecto de frescura y suavidad en productos horneados (Cruz 2002, p. 21).

Los polisacáridos solubles tienen una gran capacidad hidrofílica por la presencia de restos de azúcares con grupos polares libres. La celulosa, con enlaces intermoleculares, tiene poca capacidad de retención de agua (Rodríguez 1993). Esta característica influirá en su propiedad para formar soluciones viscosas, son fermentadas por las bacterias intestinales y su efectividad en aumentar la masa fecal (Mateu 2004, p. 8).

Capacidad de retención de aceite

La capacidad de retención de aceite (CRAc), es la máxima cantidad de aceite, en gramos, que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de aceite bajo la acción de una fuerza (Scheeman, citado por Zúñiga 2005, p. 21).

Teóricamente las partículas con gran superficie presentan mayor capacidad para absorber y atrapar componentes de naturaleza aceitosa; la grasa es atrapada en la superficie de la fibra principalmente por medios mecánicos. Se ha observado que las fibras insolubles presentan mayores valores de absorción de grasa que las fibras solubles, sirviendo como emulsificante. A esta propiedad se le relaciona con la composición química, el tamaño y el área de las partículas de fibra (Cruz 2002, p. 22). La retención elevada de aceite imparte jugosidad y mejora la textura de los productos cárnicos, en cambio una baja retención proporciona una sensación no grasosa en productos fritos (Peraza 2000, p. 30).

Capacidad de intercambio de cationes (Cic)

Esta propiedad puede estar ligada a la absorción de minerales y depende fundamentalmente del medio en que estén las fibras (Fuerza iónica, pH). Las fibras de hortalizas se comportan como algunas resinas de bajo intercambio de cationes mono funcionales debido a la presencia de ácidos galacturónicos en las paredes primarias y glucurónicos en las paredes secundarias. La capacidad de intercambio de cationes de las hortalizas es superior a la de los cereales (0.5 a 3.2 meq/g) (Thibault y otros, citados por Tirilly y Bourgeois 2002, p. 473).

Efectos Fisiológicos de la Fibra Dietética

La celulosa es un polisacárido que no es atacado por las enzimas del aparato digestivo del organismo humano y que constituye junto al resto de los polisacáridos llamados inertes o resistentes, la parte no digestible de los alimentos de origen vegetal denominada fibra bruta, de gran significación como inductora del peristaltismo intestinal (Belitz y Grosch 1997). Además, se han estudiado los efectos beneficiosos de la fibra insoluble en su potencial de reducir el riesgo de padecer cáncer de colon rectal (Dreher, citado por Córdoba 2005, p. 20). La fibra dietética tiene diferentes acciones en el organismo humano (Tabla 2).

Tabla 2 - Acciones que tienen en el organismo los diferentes componentes de la fibra

| Tipo de fibra | Acción |
|----------------------------|--|
| Celulosa | Capacidad de retención de agua, reducción de la presión colónica y reducción del tiempo de tránsito intestinal |
| Hemicelulosa | Capacidad de retención de agua, incremento de la masa fecal, reducción de la presión colónica, reducción del tiempo de tránsito intestinal y posibilidad de retener ácidos biliares. |
| Pectina, gomas y mucilagos | Retiene ácidos biliares, reduce la evacuación gástrica y mucilagos e incrementa la fermentación colónica. |
| Lignina | Capacidad de retención de agua, ligado de minerales, aumento de excreción y posibilidad de incrementar la defecación |

Fuente: Molina y Paz (2007).

Fermentación colónica

García y otros (2008, p. 10) mencionan que el proceso de fermentación de fibra en el colon es fundamental, gracias a él se produce el mantenimiento y desarrollo de la flora bacteriana, así como de las células epiteliales. Como resultado de esta fermentación bacteriana, se produce hidrógeno, dióxido de carbono, gas metano, y ácido grasos de cadena corta (AGCC), acético, propiónico y butírico.

Dado que el proceso fermentativo que se lleva a

cabo en el colon depende de las bacterias predominantes, Wang y Gibson (citados por Córdoba 2005, p. 20) han estudiado el efecto que puede producir la presencia en el medio de fructooligosacáridos como la inulina y su derivado parcialmente hidrolizado, la oligofructosa, en el desarrollo de estas bacterias del colon. Los autores encontraron un marcado crecimiento de bifidobacterias mientras que las poblaciones de bacteroides, lactobacilos, clostridios y coliformes se mantuvieron en niveles relativamente bajos o reducidos. La competencia e inhibición por parte de las bifidobacterias sobre otras bacterias involucra una alta especificidad de éstas con los fructooligosacáridos por la secreción que éstas llevan a cabo de la enzima β -fructosidasa, la disminución del pH del medio como consecuencia de una intensa producción de AGCC, que a su vez es beneficiosa para el metabolismo, y por la posible producción de agentes bacteriocidas para géneros como el *Clostridium* (Meghrou y otros, citado por Córdoba 2005, p. 20).

Velocidad del tránsito intestinal

Molina y Paz (2007) menciona que los componentes no hidrosolubles aumentan la velocidad del tránsito intestinal. Las fibras hidrosolubles (pectina y guar, entre otras) tienen la propiedad de disminuir la velocidad de absorción intestinal de la glucosa (el vaciamiento gástrico resulta mas lento), y además dificultan el contacto con el epitelio intestinal absorbente. Como consecuencia de todo ello, el paso de la fibra a lo largo del aparato digestivo puede tener diversos efectos:

- Sensación de saciedad, lo que provoca una menor ingesta de alimentos.
- Disminución del tiempo de tránsito intestinal de los alimentos.
- Control del estreñimiento y aumento de la excreción
- Retraso de la absorción de glucosa y, por tanto, menor índice glicémico.
- Menor contenido calórico en la dieta.
- Mantenimiento y desarrollo de la microbiota intestinal.

- Mayor excreción de grasa y proteína.
- Factor preventivo de cáncer intestinal.

Colesterol en la sangre

La fibra (concretamente la fracción soluble) también tiene efectos hipocolesterolémicos. Algunos de los compuestos con propiedades hipocolesterolémicas son las pectinas, galactomananos (gomas) y concentrados de cítricos. Los mecanismos de acción son varios: aumento del contenido gastrointestinal, que interfiere en la formación de micelas y absorción de lípidos, aumento y excreción de esteroides y ácidos biliares e inhibición de síntesis de colesterol hepático, debido a la absorción del ácido propiónico formado en la fermentación. Estos mecanismos actúan significativamente en las tasas de colesterol del suero sanguíneo, con lo que se afecta principalmente a la subfracción de LDL (colesterol malo), que es la que está directamente relacionada con las enfermedades cardiovasculares (Molina y Paz 2007).

Cáncer

Una ingesta alta en fibra se asocia con un menor riesgo de cáncer colorrectal. Una de las hipótesis sobre el desarrollo de cáncer de colon y recto es que a partir de las excesivas cantidades de ácidos biliares en el intestino se forman algunas sustancias cancerígenas. La fibra tendrá un efecto beneficioso importante porque reduce la secreción de ácidos biliares e incrementa su excreción en las heces. Por otra parte, la alta capacidad de retención de agua puede diluir la concentración de agentes cancerígenos y también adsorberlos en su superficie. La fibra reduce el tiempo de contacto de las sustancias cancerígenas con las paredes del intestino. Además, el ácido butírico formado por la fermentación puede inhibir la formación de tumores, que se ve potenciada por los bajos pH que resultan de la fermentación de la fibra en el colon (Molina y Paz 2007).

Importancia del Consumo de Fibra

Dentro de las recomendaciones específicas para mejorar el estado de salud del ser humano está el incrementar la ingestión de alimentos que

contengan fibra dietética. Los estudios indican que la fibra dietética reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad, cáncer de colon y otra diversidad de enfermedades. De ahí la importancia de aumentar el consumo de alimentos ricos en esta fibra (Lee y otros, citados por Zúñiga 2005, p. 21).

La importancia que ha adquirido el consumo de fibra en los últimos años, ha traído consigo modificaciones en la industria alimentaria, desarrollándose nuevos productos, más saludable y con un alto contenido de fibra dietética, vitaminas y bajo contenido de colesterol (Sáenz y Gasque, citados por Zúñiga 2005, p. 21), y comidas complementadas con ella, que han sido formuladas utilizando materias primas ricas en fibra de cereales (salvado de cereales), de vegetales (cebolla, ajo y alcachofa) y de legumbres (Periago y otros, citados por Zúñiga 2005, p. 21).

Fuentes Alimentarias para la Obtención de Fibra Dietética

Es bien conocido que la fuente de fibra insoluble más común se encuentra en productos como cereales comerciales y de grano entero, sin embargo, otras buenas fuentes de fibra insolubles se encuentran en las alubias secas, los guisantes, vegetales y los frutos secos (nuez, almendra, avellana, etc.). Por su parte, la avena de grano entero y la cebada, salvado de avena, algunas frutas, alubias secas y otras legumbres son buenas fuentes de fibra soluble (Córdoba 2005, p. 23). En la tabla 3, se muestran el contenido de humedad y de fibra soluble e insoluble de algunas frutas y derivados de frutas.

La fibra dietética que se consume en su mayoría proviene de la cascarilla de cereales, pero en ellas predomina la porción insoluble; se sabe que la avena y las leguminosas completas son las fuentes de fibra dietética de mejor calidad (Pérez y otros, citados por Sánchez 2005, p. 10), también las frutas y verduras pueden proveer en mayor proporción ambos tipos de fibra (Sánchez 2005, p. 10).

Ruales y Zumba (1998) cuantificaron y

Tabla 3 - Humedad y contenido de fibra en frutas y productos derivados

| Fruta y derivados de fruta | Humedad (%) | Total | Fibra dietética (g/100 g de porción comestible). | |
|-------------------------------|-------------|-------|--|---------|
| | | | Insoluble | Soluble |
| Manzana (Roja): | | | | |
| Sin pelar | 83.6 | 2.0 | 1.8 | 0.2 |
| Pelada | 84.6 | 1.5 | 1.3 | 0.2 |
| Granny Smith, sin pelar | 83.8 | 2.7 | 2.4 | 0.3 |
| Salsa de manzana: | | | | |
| Endulzada | 79.6 | 1.2 | 1.0 | 0.2 |
| Sin endulzar | 88.4 | 1.5 | 1.3 | 0.2 |
| Albaricoque seco | 31.1 | 7.8 | 6.0 | 1.8 |
| Albaricoques en néctar | 84.9 | 0.6 | 0.5 | 0.1 |
| Arándanos: | | | | |
| Fresco | 85.4 | 2.7 | 2.4 | 0.3 |
| Congelado | 83.5 | 3.2 | 2.5 | 0.7 |
| Pomelo: | | | | |
| Fresco | 87.8 | 1.8 | 0.7 | 1.1 |
| Jugo | 90.1 | 0.5 | 0.0 | 0.5 |
| Naranja: | | | | |
| Fresca | 86.0 | 1.8 | 0.7 | 1.1 |
| Jugo | 89.4 | 0.4 | 0.1 | 0.3 |
| Pasa seca | 26.2 | 7.3 | 3.1 | 4.2 |
| Fresas: | | | | |
| Fresca | 90.5 | 2.2 | 1.3 | 0.9 |
| Congelada | 75.0 | 1.6 | 0.9 | 0.7 |
| Mermelada | 31.8 | 0.9 | 0.7 | 0.2 |

Fuente: Dreher (citado por Córdoba 2005)

caracterizaron la fibra dietética contenida en frutas y hortalizas ecuatorianas, de estas, la vainita (*Phaseolus mungo*) presentó el más alto contenido de fibra (47.1%), y aunque el paico (*Chenopodium ambrosoides*) presentó el más bajo (8.6%), este tiene el mejor balance en contenido de fibra soluble e insoluble (40:60); por otro lado, Hernández y Gallardo (1998) estudiaron al chayote, brócoli y mamey, encontrando que son buenas fuentes de fibra insoluble por su alto contenido de celulosa (1.45, 3.49 y 0.95 g/100g respectivamente).

Aprovechamiento de Residuos de Frutas y Hortalizas para la Obtención de Fibra Dietética

Se han estudiado los desechos de frutas, hortalizas y otros vegetales como fuentes alternas de fibra dietética, entre ellos se tienen los residuos de la industria de jugo de naranja (Tamayo y Bermúdez, 1998) y maracuyá

(Baquero y Bermúdez, 1998). Jiménez y otros (citados por Sánchez 2005, p. 11) analizaron la cáscara de guayaba, llegando a la conclusión que ésta puede ser un excelente ingrediente de alimentos, pues combina las propiedades de la fibra dietética y el beneficio de los componentes antioxidantes presentes, entre ellos la vitamina C y E, así como compuestos fenólicos y carotenoides. El bagazo de caña de azúcar (Sangnark y Noomhorm, citado por Sánchez 2005), la cascarilla del cacao (Redgwell y otros, citados por Sánchez 2005) y del frijol lima (*Phaseolus lunatus*) (Betancur y otros, citado por Sánchez 2005), son otros residuos que se han analizado; los resultados obtenidos permiten seleccionar los tipos de alimentos a los cuales pueden incorporarse, según el aporte de fibra soluble e insoluble que se desee (Pak 2001).

López (2007, p. 22) menciona que las industrias dedicadas a la elaboración de jugo y

concentrados cítricos realizan una serie de etapas para su producción, en donde en la etapa final por filtración se eliminan las semillas y el bagazo, compuesto por las membranas también llamadas sáculos. Los residuos obtenidos (Cáscaras, semillas y sáculos) representan el 50% del fruto entero (Grigelmo y Martín, citados por López 2007, p. 22) y son aprovechados para diferentes propósitos industriales. Las cáscaras son aprovechadas para la obtención de aceites esenciales y pectinas. Sin embargo pocas son las industrias que se han interesado en aprovechar los residuos como fibra dietética. Algunos estudios realizados por Sandra y otros (citado por López 2007, p. 22) señalan que los sáculos de naranja representan un desecho al que no se ha prestado debida atención, pues existe evidencia de que son ricos en fibra dietética (70%) y poseen buena relación de fibra dietética soluble e insoluble (Fernández y Rodríguez, citados por López 2007, p. 22).

Obtención de fibra soluble

Las fibras solubles están generalmente compuestas de un único tipo de polímero. Los procedimientos de obtención de las fibras solubles están fundamentados, en general, en una extracción en medio líquido, basada en las diferentes solubilidades de los compuestos, seguida de etapas de purificación por filtración y de precipitación en presencia de alcohol o de sales. Por último, la obtención se termina con un secado y un triturado. Las pectinas altamente metiladas se extraen, por ejemplo, con un ácido diluido en caliente, luego se presanan, se filtran y se precipitan con alcohol (Tirilly y Bourgeois 2002, p. 464).

La inulina se puede obtener a partir de la achicoria, del ajo, de la patata por simples extracciones acuosas; el extracto acuoso, después de ser purificado, se concentra y se seca para dar la inulina. Los oligosacáridos de grado de polimerización variado se obtienen bien por síntesis a partir de la sacarosa o bien por la hidrólisis controlada de la inulina, del almidón o del xilano (Tirilly y Bourgeois 2002, p. 464).

Obtención de fibra insoluble

Los métodos tradicionales para la obtención de fibra insoluble involucran operaciones como trituración para disminuir su tamaño de partícula; lavado para eliminar carga microbiana, residuos y azúcares simples; filtración y secado para prolongar su vida útil y, finalmente, la molienda y el envasado (Pérez y Sánchez, 2001, citados por Priego 2007, p. 19). Actualmente también son empleados tratamientos como extrusión, autoclavado e hidrólisis en medios ácidos o alcalinos, que se aplican en fuentes con alto contenido de fibra dietética insoluble con el fin de hidrolizar parte de esta fracción para obtener una mejor relación fibra dietética soluble e insoluble (López 2007, p. 19).

Para el caso de frutas y vegetales que poseen fibras suaves y que se ha observado tienen una relación de fibra dietética soluble e insoluble más equilibrada (Fernández y otros, citados por Priego 2007, p. 21), los tratamientos aplicados consisten en lavados con agua, sin embargo la temperatura empleada en ocasiones es alta (80 a 100° C), facilitándose en el medio acuoso la lixiviación de parte de la fibra soluble (Derivi y otros, citados por Priego 2007, p. 21); además en fibras que poseen compuestos bioactivos sería poco favorable este tratamiento pues se podría favorecer más fácilmente la lixiviación de estos componentes (Gorinstein y otros, citados por Priego 2007, p. 21). En otras metodologías se aplican lavados a temperatura ambiente (23° C), disminuyendo la lixiviación de los constituyentes de la fracción soluble, mejorando así la relación de fibra dietética soluble e insoluble, pero presentan como desventaja una alta contaminación microbiana debida a la baja calidad del agua empleada (proveniente del grifo) y al bajo arrastre de microorganismos durante la etapa de lavado, por lo que el uso de los residuos fibrosos así obtenidos se limita a su incorporación en alimentos que requieran de un proceso térmico en su elaboración (Fernández y otros, citados por Priego 2007, p. 21).

Tirilly y Bourgeois (2002, p. 465) mencionan que los tratamientos de cocción ocasionan un

aumento de la proporción de fibras insolubles/ fibras solubles, una pérdida de sustancias pépticas y de hemicelulosas durante la cocción, acompañado generalmente de una alteración de la textura de las hortalizas, una formación de almidón resistente en las hortalizas ricas en almidón.

Brandt y otros (citados por Tirilly y Bourgeois 2002, p. 466) estudiaron la incidencias de la cocción entre valores de pH 2 y 10 de las hortalizas (Coliflor, pata alubia, guisante, maíz) sobre su composición y su textura. La textura es más firme a pH 4 que a pH más elevado, debido, probablemente a la pérdida de ciertos

Fuente: Tirilly y Bourgeois (2002).

constituyentes (hemicelulosas y pectinas) durante la cocción.

Determinación de la Fibra Dietética

La fibra dietética, si es de origen vegetal, puede incluir fracciones de lignina y/o otros compuestos cuando están asociados a los polisacáridos en la pared celular de los vegetales y si tales compuestos se han cuantificado mediante el método de análisis gravimétrico, que es el adoptado para el análisis de la fibra dietética (AOAC 1990): Las fracciones de lignina y los otros compuestos (fracciones proteínicas, compuestos fenólicos, ceras, saponinas, fitatos, cutina, fitosteroles, etc.) íntimamente "asociados" a los polisacáridos vegetales, suelen extraerse con los polisacáridos según el método AOAC 991.43 (CODEX 2004, p 3)

Los métodos analíticos se pueden agrupar en dos tipos.

Métodos enzimático-gravimétricos

Estos métodos se basan en digerir las proteínas e hidratos de carbono con enzimas, el remanente se adjudica a la fibra dietética previo descuento del contenido de cenizas y proteínas remanentes. Puede determinarse la fibra insoluble sola o por precipitación con alcohol, se puede incluir la fibra soluble y se pueden determinar separadas o juntas (FAO 1997).

Los métodos más adecuados son el de Prosky y Lee (citado por FAO 1997), que han sido reconocidos como métodos oficiales de la AOAC (Association of Official Analytical Chemists), para la determinación de la fibra dietética total, fibra insoluble y soluble (Tabla 4).

Tabla 4 – Métodos utilizados para la determinación de las fibras

| | |
|-------------------------------------|---|
| Métodos enzimáticos/ gravimétricos | Prosky y otros, 1988 (Método AOAC 985.29) Lee y otros, 1992 (Método AOAC 991.43) Asp y otros, 1983. |
| Métodos colorimétricos/ enzimáticos | Englyst y Hudson, 1987 |
| Métodos/cromatográficos | Englyst y Cummings, 1988 Theander y otros, 1995. |

Métodos enzimático-químicos

El residuo de las fibras obtenido después de la digestión enzimática es hidrolizado con ácidos fuertes para liberar los azúcares monoméricos que se determinan colorimétricamente, por cromatografía de gas líquido (GLC) o cromatografía líquida de alta presión (HPLC). Los azúcares ácidos se cuantifican por descarboxilación y medición del anhídrido carbónico liberado o colorimétricamente. La lignina se determina gravimétricamente en algunas técnicas. Los métodos existentes son: Método de Southgate (colorimétricos), Método de Englyst y otros (GLC), Método de Theander y otros (GLC) y por cromatografía líquida de alta presión (HPLC).

Conclusiones

Las fibras solubles están compuestas por polisacáridos no amiláceos, como las pectinas, gomas y algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos). Y las fibras insolubles estas compuestas de celulosas, ligninas y algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos).

La fibra es un alimento funcional, fundamentalente para regular el tránsito intestinal, mantener el ecosistema de la flora bacteriana, protector de

enfermedades cardiovasculares y previene el cáncer del colon.

Las propiedades funcionales de la fibra dietética tienen efectos en los productos alimentarios y en el organismo del ser humano, por su capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite los que están relacionados al tamaño de partícula.

Las fibras en su mayor contenido se encuentran en las frutas, hortalizas y en los subproductos de éstas, como las cáscaras y hojas que tradicionalmente no se consumen, estas pueden ser aprovechados mediante procesos tecnológicos para la obtención de fibra dietética.

Referencias

- Anguera A. 2007. Efectos de la fibra soluble cáscaras de *Plantago ovata* sobre factores lipídicos de riesgo cardiovascular. [Tesis Doctoral en Nutrición y Metabolismo Unidad de Lípidos y Arteriosclerosis]. Reus. España. Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud. Departamento de Medicina y Cirugía. Universidad Rovira I Virgili. 205 p.
- Aspinall G. (1982). Analysis of polysaccharides. En: Food Carbohydrates. Ed. Lineback, D.R., y Inglett, G.E., AVI Publishing Co., Westport. 356 p.
- Baixaui R. 2007. Influencia de la adición de un ingrediente funcional en la calidad de un producto de Bollería. Aspectos reológicos y texturales y su relación con la aceptación sensorial. [Tesis Doctoral]. Valencia. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Universidad Politécnica de Valencia. 197 p.
- Belitz H, y Grosch W. (1997). Química de Alimentos. 2da Ed. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. 884 p.
- Baquero C, Bermúdez A. 1998. Los residuos vegetales de la Industria de jugo de maracuyá como fuente de fibra dietética. En *termas de Tecnología de Alimentos*. Vol. 2. Fibra Dietética. Editado por Lajolo M. y Wenzel E. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México. 207-214 pp.
- Córdoba A. 2005. Caracterización de Propiedades Relacionadas con la Textura de Suspensiones de Fibras Alimentarias. [Tesis de Doctorado]. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. 205 p.
- Cegarra J, Sánchez M, Roig A, Bernal M. 1994. Sequential extraction of heavy metals from composting organic wastes. Etchevers J, editors. Transactions of the 15th international congress of soil science. Vol. 3b. International Society of Soil Science. México. 158-159 pp.
- Cruz M. 2002. Caracterización fisicoquímica, fisiológica y funcional de residuos fibrosos de cáscara de maracuyá (*Pasiflora edulis*). [tesis para obtener el grado de Ingeniero Químico]. México. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. 156 p.
- De La Llave A. 2004. Efecto de la adición de fibra soluble sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en un producto de panificación. [Tesis en Licenciatura de Ingeniería de Alimentos]. Cholula, Puebla, México. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Universidad de las Américas Puebla. 86 p. Defendido en 8 de mayo 2004.
- Escudero A, Gonzales P. 2006. La fibra dietética. [Artículo científico en línea]. *Nutrición Hospitalaria*. (Sup. 2) 61-72 pp. [Consultado el 14 de abril del 2009]. Formato pdf. Disponibilidad libre en: <<http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v21s2/original6.pdf>>. ISSN 0212-1611.
- Fennema O. 2000. Química de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Fuertes S. 1998. Tendencias actuales en el uso de la fibra dietética en la alimentación séptimo simposio de alimentos. Universidad

- Autónoma de Yucatán. 1-25 pp.
- Gartzia I. 2008. Desarrollo de ingredientes alimentarios a base de fibra dietética procedentes de residuos agroalimentarios. Dirección de Innovación y Desarrollo Tecnológico, Viceconsejería de Política e Industria Alimentaria, Dpto. Agricultura, Pesca y Alimentación, Eusko Jaurlaritz - Gobierno Vasco. Sukarrieta. 16 p.
- García P, Bretón I, De la Cuerda Compes C, Cambor M. 2002. Metabolismo colónico de la fibra. [Artículo científico en línea]. Nutrición Hospitalaria. (Sup. 2) 11-16 pp. [Consultado el 14 de abril del 2009]. Formato pdf. Disponibilidad libre en: <<http://www.nutricionhospitalaria.com/mostrarfile.asp?ID=3360>>. ISSN 0212-1611.
- García E, Benito R, Rivera C. 2008. Hacia una definición de la fibra alimentaria. Escuela de Nutrición. Facultad de Medicina. Universidad Central de Venezuela. Vol. 21 (1): 25-30 pp.
- Hernández H, Gallardo Y. 1998. Composición Parcial de los polisacáridos de las fibras del chayote, brócoli y mamey. Tecnología de Alimentos. Vol. 2. Fibra Dietética. Editado por Lajolo M. y Wenzel E. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México. 43-53 pp.
- Lajolo M, Saura C, Witing P, Wenzel M. 2001. Fibra Dietética en Iberoamérica: Tecnología y salud. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. Ed. Varela. Brasil. 84-358 p.
- Larrauri J, Cerezal P, Batista A, López B. 1994. Caracterización de residuos de tomate, pimiento y guayaba. Alimentaria. España. 81-85 pp. [Consultado en 10 de mayo]. Formato html. Disponibilidad libre en: <http://www.infoagro.com/conservas/residuos_conservas_vegetales2.htm>
- Mateu X. 2004. La fibra en la alimentación Farmacia Hospitalaria. Barcelona. Editorial: Gráficas celler S.A. 19 p.
- Molina M, Paz M. 2007. La Fibra Dietética Procesada como Alimento Funcional. Escuela Andaluza de Salud Pública. Consejería de Salud. Junta de Andalucía. Granada. Csic. Estación experimental del Zaidón. Granada. 70-77 pp.
- Nutrer S.A. 2005. Fibras dietéticas: Beneficios para la salud y Oportunidades de negocio en México. Mundo alimentario. 19 p.
- Pak D. 2001. Fibra dietética en alimentos chilenos. 2001. En Fibra Dietética en Iberoamérica, Tecnología y Salud. Editado por Lajolo M, Saura F, Witting E. y Wenzel E. Brasil. 180-185 pp.
- Peraza G. 2000. Caracterización de los residuos Fibrosos de Canavalia ensiformis L. y Phaseolus Lunatus L. y su incorporación a un producto alimenticio. [Tesis para obtener el grado de Ingeniero Químico]. México. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. 120 p.
- Priego M. 2007. Obtención de Fibra Dietética a Partir de Sáculos de Naranja aplicando un Tratamiento con Vapor. [Tesis para obter el título de Ingeniero en Alimentos]. Huajuapán de León. México. Universidad Tecnológica de la Mixteca. 64 p.
- Rodríguez M. 1993. Influencia del tratamiento térmico en la fibra alimentaria y azúcares solubles de productos vegetales. [Tesis Doctoral]. Madrid. Facultad de Farmacia. Departamento de Nutrición y Bromatología II. Universidad Complutense de Madrid. 407p.
- Ruales J, Zambra J. 1998. Cuantificación y caracterización de la fibra dietética en frutas y hortalizas ecuatorianas. Tecnología de Alimentos. Vol. 2. Fibra Dietética. Editado por Lajolo M. y Wenzel E. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México. 55-59 pp.
- Sánchez B. 2005. Caracterización Físicoquímica y funcional de la fibra Dietética del Fruto del Níspero y de Cáscara de Mango Obo. [Tesis para obter el grado de Ingeniero en

- Alimentos]. Huajuapán de León. México. Universidad Tecnológica de la Mixteca. 76 p.
- Tamayo Y, Bermúdez A. 1998. Los residuos vegetales del jugo de naranja como fuente de fibra dietética. En *temas de Tecnología de Alimentos*. Vol. 2. Fibra Dietética. Editado por Lajolo M. y Wenzel E. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México. 181-189 pp.
- Tirilly Y, Bourgeois C. 2002. Las fibras extraídas de las hortalizas. *Tecnología de Hortalizas*. Zaragoza. Editorial Acribia S.A. 459-478 pp.
- Zambrano Z, de la Luz M, Hernández A, Gallardo Y. 1998. Caracterización fisicoquímica del Nopal. En *temas de Tecnología de alimentos*. Vol. 2. Fibra dietética. Editado por Lajolo M. y Wenzel E. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México. 29-41 pp.
- Zambrano Z. de la Luz M, Meléndez R, Gallardo Y. 2001. Propiedades funcionales y metodología para su evaluación en fibra dietética. En *Fibra Dietética en Iberoamérica, Tecnología y Salud*. Editado por Lajolo M, Saura F, Witting E. y Wenzel E. Brasil. 195-209 pp.
- Zúñiga M. 2005. Caracterización de Fibra Dietaria en Orujo y Capacidad Antioxidante en vino, hollejo y semilla de uva. [Tesis de licenciatura en Ingeniería Agronómica]. Asesor. Dr. Peña Álvaro y Chiffelle Italo. Santiago. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 58 p.