



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**FIBRA DIETÉTICA: DEFINICIÓN, BENEFICIOS Y  
MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN**

**TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**QUÍMICA DE ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**LUCIA RUIZ ALONSO**



**CIUDAD DE MÉXICO**

**2016**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**JURADO ASIGNADO**

**PRESIDENTE:            Profesor: M. en C. Lucía Cornejo Barrera**

**VOCAL:                    Profesor: QFB. Bertha Julieta Sandoval Guillén**

**SECRETARIO:            Profesor: Dra. Iliana Elvira González Hernández**

**1er. SUPLENTE:        Profesor: M. en C. Argelia Sánchez Chinchillas**

**2° SUPLENTE:          Profesor: M. en C. Tania Gómez Sierra**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: CENTROS DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA DE CIUDAD  
UNIVERSITARIA**

**ASESOR DEL TEMA:**

**QFB. Bertha Julieta Sandoval Guillén \_\_\_\_\_**

**SUSTENTANTE:**

**Lucía Ruíz Alonso \_\_\_\_\_**

| <b>Contenido</b>  | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| Introducción .....  | 1             |
| Objetivos.....  | 2             |
| Capítulo I. Generalidades.....  | 3             |
| I.1 Definición .....  | 3             |
| I.2 Composición .....   | 12            |
| I.2.1 Clasificación con base en sus propiedades.....  | 12            |
| I.2.2 Clasificación con base en sus componentes.....  | 15            |
| Capítulo II. Efectos benéficos atribuidos a las fibras dietéticas .....   | 29            |
| II.1 Efectos gastrointestinales .....   | 31            |
| II.2 Enfermedades cardiovasculares .....  | 37            |
| II.3 Cáncer .....   | 40            |
| II. 4 Obesidad y mantenimiento de peso .....  | 43            |
| II. 5 Diabetes mellitus tipo 2 .....  | 47            |
| II. 6 Estudios que relacionan el consumo de fibra con la incidencia de enfermedades.....                                | 49            |
| Capítulo III. Industria de alimentos.....   | 51            |
| III.1 Propiedades de hidratación.....   | 52            |
| III.2 Características de superficie .....   | 54            |
| III.3 Aplicaciones.....   | 56            |
| III.4 Propiedades y efectos fisiológicos de polisacáridos no digeribles (NDP) y oligosacáridos no digeribles (NDO)..... | 59            |
| Capítulo IV. Métodos de cuantificación .....  | 66            |
| IV.1 Métodos gravimétricos.....   | 66            |
| IV.1.1 Métodos no enzimáticos-gravimétricos .....   | 66            |
| IV.1.2 Métodos enzimáticos-gravimétricos.....   | 68            |
| IV. 2 Métodos enzimático-químicos.....  | 69            |
| IV.2.1 Colorimétricos.....  | 69            |
| IV.2.2 Cromatografía de gas líquido (GLC) .....   | 69            |
| IV.2.3 Cromatografía líquida de alta presión (HPLC).....  | 69            |
| Conclusiones .....  | 74            |
| Abreviaturas.....   | 75            |
| Bibliografía.....   | 76            |

# Introducción

---

En la última década, se han obtenido conocimientos significativos acerca de la fibra dietética: su papel en la preservación de la salud y la reducción en el riesgo de enfermedades, las funciones tecnológicas que brinda, así como sus métodos de cuantificación.

El concepto de fibra dietética se ha ampliado y la respuesta de una definición reconocida universalmente continúa, ya que, uno de los principales problemas para cualquier definición de fibra dietética es encontrar el equilibrio entre el conocimiento acerca de sus efectos fisiológicos y tecnológicos y las posibilidades de los métodos analíticos disponibles para su determinación.

La ingesta de fibra se da a través del consumo de alimentos, como verduras, frutas, cereales integrales y frutos secos. La carencia de ésta en la dieta del hombre, es un factor causal de numerosas enfermedades denominadas “enfermedades de la civilización”, como la diabetes, obesidad, diverticulosis, enfermedades cardiovasculares, trastornos gastrointestinales, incluyendo estreñimiento, enfermedades inflamatorias del intestino como el cáncer de colon, colitis ulcerosa, entre otras. La importancia de la fibra radica en las propiedades fisiológicas en el organismo, ayudando a prevenir la presencia de las enfermedades silenciosas. Dentro de los efectos atribuidos a la fibra dietética se encuentran: reducción del colesterol en plasma, atenuación de la respuesta de la glucemia y de la insulina, así como, aumento de volumen de las heces, entre otras.

Los componentes de la fibra dietética aislados de sus plantas nativas, proporcionan muchas propiedades funcionales que afectan a la función tecnológica de los alimentos. Estas propiedades también influyen en la calidad del producto final y durante su procesamiento. Las principales propiedades aportadas por la fibra para el desarrollo de alimentos se relacionan con su solubilidad, viscosidad y la capacidad de gelificación, capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite y tamaño de poro.

Debido a lo anterior, este trabajo tiene la intención de ser una fuente de información útil acerca del conocimiento actual de la fibra dietética que abarque desde sus definiciones hasta los recientes hallazgos científicos sobre su papel en la salud y en la industria de los alimentos y los métodos de cuantificación.

# Objetivos

---

- General

Presentar un escrito actualizado sobre la fibra dietética, puntualizando las diferentes definiciones, los posibles métodos de análisis y los aspectos tecnológicos y fisiológicos de la misma.

- Específicos

Revisar las definiciones de la fibra dietética analizando los cambios que se han dado con respecto a su composición para identificar la más adecuada.

Conocer los componentes y propiedades de la misma para proponer una clasificación.

Revisar la información científica acerca de las enfermedades en las que su incidencia se relaciona con el consumo de fibra dietética y los posibles mecanismos de acción en las patologías descritas para elaborar un compendio de esta información.

Destacar las principales propiedades de la fibra dietética para su aplicación en la industria de alimentos.

Estudiar los principales métodos de cuantificación para resaltar sus principales características y los componentes de la fibra dietética que se determinan.

# Capítulo I. Generalidades

---

## I.1 Definición

Desde mediados de la década de 1970, el papel de la fibra dietética en la salud y la nutrición ha estimulado una amplia gama de actividades de investigación y ha llamado la atención del público, acumulando evidencia que favorece la opinión de que una mayor ingesta de fibra dietética puede tener efectos beneficiosos contra enfermedades crónicas, como las enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer de colon y la mejora en el mantenimiento del peso (Brunt *et al.*, 2013). A la vista del potencial terapéutico de la fibra, se están desarrollando más productos alimenticios con fibra incorporada y además de los beneficios fisiológicos proporcionados por alimentos altos en fibra, los estudios han demostrado que los componentes de ésta pueden dar textura y aportar propiedades de gelificación, como espesantes, emulsionantes y para estabilización a ciertos alimentos (Adbul *et al.*, 2000).

El término de fibra ha causado confusión tanto en la definición de la misma así como en los métodos de análisis para su cuantificación. Impulsado por el creciente conocimiento de los beneficios de la fibra dietética, numerosos investigadores comenzaron a desarrollar métodos de análisis en un intento por cuantificar fibra dietética de los alimentos.

Las propiedades fisiológicas de la fibra dietética determinan su importancia en el organismo humano. Por lo tanto, actualmente, la mayoría de los científicos concuerdan que la definición de fibra dietética debería basarse en sus características fisiológicas.

En general se cree que fue el médico inglés Eben Hipsley en 1953, el primero en utilizar "Fibra dietética" como un término abreviado para los componentes no digeribles que constituyen la pared celular de las plantas. Estos componentes se sabe que incluyeron la celulosa, hemicelulosa y lignina (Hipsley, 1953).

Entre 1972 y 1976, Trowell, Burkitt y Walker adoptaron el término de Hipsley en conjunto con una serie de hipótesis relacionadas con la salud que estaban desarrollando, el término fue usado para describir los restos de componentes de la planta que son resistentes a la hidrólisis por las enzimas humanas. Por lo tanto, era una descripción fisiológica y botánica. Los componentes incluidos en esta definición eran celulosa, hemicelulosa, lignina, y sustancias menores asociadas como ceras, cutina y suberina (DeVries *et al.*, 1999). Las

"hipótesis de fibra dietética" postulaban una relación inversa entre el consumo de fibra dietética y la incidencia de cáncer de colon y enfermedades del corazón.

Para 1976, la definición de fibra dietética se había ampliado para incluir a todos los polisacáridos no digeribles (en su mayoría sacáridos de almacenamiento de las plantas) tales como gomas, celulosas modificadas, mucílagos, oligosacáridos y pectinas. Esta seguía siendo principalmente una definición fisiológica basada en la resistencia a la digestión de la fibra, pero se amplió para reflejar los resultados de investigaciones químicas obtenidas en los años intermedios, debido a que algunos de los polisacáridos no digeribles que se incluyeron en la definición de fibra podría no necesariamente ser identificados químicamente como los que tiene su origen en la pared celular (DeVries *et al.*, 1999).

El concepto de la fibra dietética se ha ampliado y la respuesta de una definición reconocida universalmente continúa. Una definición generalmente aceptada de fibra dietética incluye a polisacáridos y lignina que no son digeridos ni absorbidos en el intestino delgado humano dividiendo a la fibra dietética en dos fracciones, una de las cuales es soluble en agua a 100°C y pH 6 a 7, y otro que es insoluble. Este último se ha relacionado principalmente con la regulación de la motilidad intestinal, mientras que la fracción soluble se ha asociado con los efectos sobre el colesterol en sangre y la reducción de la absorción de glucosa (Grigeldo, Miguel y Martin, Belloso, 1999).

Debido a que en sus inicios, los métodos de análisis de los polisacáridos no amiláceos, se realizaba mediante la extracción de diferentes fracciones de fibra con el control del pH de las soluciones, se desarrollaron bajo este contexto este tipo de definiciones que empleaban los términos de fibra soluble e insoluble. Se proporcionó una categorización simple y útil de la fibra dietética con diferentes propiedades fisiológicas, como se comprendió en ese tiempo. De esta forma, las fibras que afectan principalmente la absorción de la glucosa y la grasa, se las llamó solubles debido a que muchas de ellas eran viscosas y formaban geles en el intestino delgado (por ejemplo, pectinas y  $\beta$ -glucanos). Por el contrario, los tipos de fibra dietética con una mayor influencia en la función del intestino grueso se denominaron insolubles (incluidas celulosa y lignina). Ahora está claro que esta simple diferencia fisiológica es inapropiada debido a que algunas fibras insolubles se fermentan rápidamente y algunas fibras solubles no afectan la absorción de glucosa y grasa. Debido a que los



términos soluble e insoluble pueden ser confusos, la Organización Mundial de la Salud y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura recomendaron en 1998 que estos términos no deberían usarse más (Gray, 2006). Aunque se considera que los términos deben desaparecer de la nomenclatura, estos términos de soluble/insoluble, fermentable/no fermentable y viscosa/no viscosa, son la base de sus beneficios fisiológicos por lo que desde un punto de vista práctico sería una clasificación apropiada derivándose conceptos ampliamente aceptados como: fibra fermentable, soluble y viscosa y fibras escasamente fermentables, insolubles y no viscosas (García, Peris y Álvarez-de Frutos, 2000).

A medida que han ido aumentando los conocimientos sobre la fibra tanto a nivel estructural como en sus efectos fisiológicos, se han dado otras definiciones que amplían el concepto de fibra. En el año 2001 la AACC (*American Association of Cereal Chemist*) definió la fibra dietética, como la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta. Las fibras dietéticas promueven efectos beneficiosos fisiológicos como el laxante, y/o atenúa los niveles de colesterol en sangre y/o atenúa la glucosa en sangre (AACC, 2001). Una definición más reciente añade a la definición previa de fibra dietética el concepto nuevo de fibra funcional o añadida que incluye otros hidratos de carbono absorbibles como el almidón resistente, la inulina, diversos oligosacáridos y disacáridos como la lactulosa (Escudero, Álvarez y Gonzáles, Sánchez, 2006).

En el año 2002, la Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria de los Alimentos (AFSSA, 2002) definió a la fibra dietética como:

- Polímeros de hidratos de carbono (grado de polimerización  $\geq 3$ ) de origen vegetal con lignina u otros componentes no-hidratos de carbono (por ejemplo, polifenoles, ceras, saponinas, cutina, fitatos, fitoesteroles).
- Polímeros de hidratos de carbono (grado de polimerización  $\geq 3$ ), procesados (por medios físicos, enzimáticos o químicos) o sintéticos.
- No tiene que digerirse ni absorberse en el intestino delgado y debe tener al menos, una de las siguientes propiedades: - Estimular la fermentación colónica - Reducir los

niveles preprandiales de colesterol - Reducir los niveles postprandiales de glicemia y/o insulina en la sangre.

La AFSSA propuso una definición amplia y compleja; aunque está principalmente circunscrita a fibras de origen natural o fibras sintéticas, excluyendo a las fibras de origen animal o microbiano (Gray, 2006).

En el año 2006 la Comisión del Codex Alimentarius (CAC, 2006) definió a la fibra dietética como polímeros de hidratos de carbono con un grado de polimerización no inferior a 3, que no son digeridos ni absorbidos en el intestino delgado. La fibra dietética consiste en uno o más:

- Polímeros comestibles de hidratos de carbono que se encuentran en forma natural en los alimentos consumidos.
- Polímeros de hidratos de carbono, que se han obtenido de materias primas alimentarias por medios físicos, enzimáticos o químicos.
- Polímeros de hidratos de carbono sintéticos.

La fibra dietética tiene generalmente las siguientes propiedades:

- Disminuye el tiempo de tránsito intestinal y aumenta el volumen de las deposiciones.
- Es fermentable por la microflora colónica.
- Reduce los niveles de colesterol total y/o colesterol LDL.
- Reduce los niveles posprandiales de glucosa y/o insulina en la sangre.

En junio del 2009 la Comisión del Codex Alimentarius adoptó una nueva definición con base en las recomendaciones del Comité del Codex sobre Nutrición y Alimentos para Régimen Especiales (CCNFSDU) por lo que la fibra dietética se terminó por definir de la siguiente manera (CAC, 2009):

Con el término de fibra dietética se entiende a los polímeros de hidratos de carbono con diez o más unidades monoméricas, que no se hidrolizan por las enzimas endógenas en el intestino delgado de los seres humanos y pertenecen a las siguientes categorías:

- Polímeros de hidratos de carbono comestibles que se encuentran naturalmente en los alimentos tal como se consumen.

- Polímeros de hidratos de carbono, los cuales han sido obtenidos de materia prima alimentaria por medios físicos, enzimáticos o químicos y que se ha demostrado que tienen un efecto fisiológico beneficioso para la salud demostrada mediante pruebas científicas generalmente aceptadas por las autoridades competentes.
- Polímeros de hidratos de carbono sintéticos que se ha demostrado que tienen un efecto fisiológico beneficioso para la salud como se ha demostrado mediante pruebas científicas generalmente aceptadas por las autoridades competentes.

La única diferencia fundamental entre la definición del 2001 de la AACC y la versión 2009 del Codex, es que este último excluye oligosacáridos con un grado de polimerización de menos de 10 (Redgwell, 2010).

La decisión sobre si se debe incluir hidratos de carbono de 3 a 9 unidades monoméricas se debe dejar a las autoridades nacionales. Los comités de ILSI (International Life Sciences Institute) Europa e ILSI Norte América organizaron un foro en el Noveno Simposio Vahouny de Fibra en el año 2010, con el fin de discutir la forma en la cual se puedan resolver estos asuntos de implementación para llegar a un consenso científico sobre el tema. Según las conclusiones extraídas de esta sesión, la mayor parte de los expertos concuerda en mantener un consenso mundial respecto de la inclusión de los hidratos de carbono no digeribles con  $GP \geq 3$  como fibra dietética, ya que no existen motivos metodológicos ni de diferencia en los efectos fisiológicos entre los hidratos de carbono con  $GP$  3-9 y  $\geq 10$  (Howlett *et al*, 2010).

La Comisión Europea adoptó esta definición e incluyó a todos los polímeros con 3 o más unidades monoméricas (Comisión Europea, 2008). Además de los países de la UE, otros como Canadá y China han optado por incluir estos polímeros, mientras que en otros países no se ha tomado ninguna decisión.

La definición adoptada por el Codex, la UE y otros incluye por un lado, los hidratos de carbono no digeribles añadidos (fibras añadidas) a los alimentos pero requieren evidencia científica de un efecto beneficioso para la salud (Brunt *et al*, 2013).

En la Tabla 1 se presenta un resumen de la historia de la definición de fibra dietética.

**Tabla 1. Historia de la definición de fibra dietética  
(Institute of Medicine, 2001; Guo, 2009)**

| <b>Referencia</b>                           | <b>Año</b> | <b>Definición</b>   |
|---|------------|---|
| <b>Hipsley</b>                              | 1953       | Término abreviado para los componentes no digeribles que constituyen la pared celular de las plantas. Estos componentes se sabe que incluyeron la celulosa, hemicelulosa y lignina.   |
| <b>Trowell et al</b>                        | 1972-1976  | Adoptaron el término de Hipsley en conjunto con una serie de hipótesis relacionadas con la salud. El término se define como los restos de componentes de la planta que son resistentes a la hidrólisis por las enzimas humanas. Los componentes incluidos en esta definición eran celulosa, hemicelulosa, lignina, y sustancias menores asociadas como ceras, cutina y suberina.  |
| <b>Health and Welfare Canada</b>            | 1985       | La fibra dietética está constituida por componentes endógenos de material vegetal en la dieta que son resistentes a la digestión por las enzimas producidas por los seres humanos. Son predominantemente polisacáridos no amiláceos y lignina y pueden incluir, además, sustancias asociadas.   |
| <b>Life Sciences Research Office (LSRO)</b> | 1987       | La fibra dietética se refiere a los componentes endógenos de materiales vegetales en la dieta que son resistentes a la digestión por las enzimas producidas por los seres humanos.  |
| <b>Health Canada</b>                        | 1988       | La fibra dietética es un componente endógeno del material vegetal en la dieta, que es resistente a la digestión por las enzimas producidas por el hombre. Está constituida por polisacáridos no amiláceos predominantemente y lignina. La composición varía con el origen de la fibra, e incluye sustancias solubles e insolubles.<br><br>Define como “novel fiber or novel source” a un alimento que:<br>(1) Ha sido fabricado para ser una fuente de fibra dietética, y tradicionalmente no se ha utilizado para el consumo humano de forma significativa.<br>(2) Ha sido procesado químicamente (por ejemplo, oxidada) |

|  |      |  |
|--|------|--|
|  |      | o procesado físicamente (por ejemplo, finamente molido) con el fin de modificar las propiedades de la fibra.<br>(3) Ha sido altamente concentrado de la fuente.  |
| <b>Anonymous (Germany)</b>   | 1989 | La fibra se define como las sustancias de origen vegetal, que no se puede descomponer por las propias enzimas del cuerpo en el intestino delgado, en componentes absorbibles. Se incluyen polisacáridos solubles e insolubles (celulosa, pectina, hidrocoloides) y lignina y almidón resistente. |
| <b>Anonymous (Belgium)</b>   | 1992 | La fibra dietética se define como los componentes de los alimentos que normalmente no son descompuestos por las enzimas propias del cuerpo de los seres humanos.   |
| <b>Anonymous (Italy)</b>   | 1993 | La fibra dietética se define como la sustancia comestible de origen vegetal que normalmente no es hidrolizado por las enzimas secretadas por el sistema digestivo humano.  |
| <b>FAO/WHO (Codex Alimentarius Commission)</b>                       | 1995 | La fibra dietética es el material vegetal o animal comestible no hidrolizado por las enzimas endógenas del tracto digestivo humano, determinado por el método acordado. (El Codex aprobó los métodos de la AOAC 985.29 y 991.43)   |
| <b>Jian-xian (China)</b>   | 1995 | La fibra dietética es la suma de componentes de los alimentos que no son digeridos por las enzimas intestinales y que no se absorbe en el cuerpo.  |
| <b>Denmark</b>   | 1995 | La fibra dietética es el material aislado por métodos de la AOAC 985.29 y 997.08.  |
| <b>Ministry of Health and Welfare (Japan)</b>                        | 1996 | La fibra dietética es el material aislado por el método AOAC 985.29. Además se incluyen los hidratos de carbono de bajo peso molecular, no digeribles, determinados por cromatografía líquida de alta resolución.  |
| <b>Committee on Medical Aspects of Foods (COMA) (United Kingdom)</b> | 1998 | La fibra dietética se define como los polisacáridos medidos por el método de Englyst.  |
| <b>Finland</b>   | 1998 | La fibra dietética se define como los hidratos de carbono obtenidos utilizando los métodos de la AOAC 985.29 y AOAC 997.08.  |

|   |      |  |
|---|------|--|
| <b>Norway</b>   | 1998 | La fibra dietética es el material aislado por el método AOAC 985.29 más la inulina y la oligofructosa.   |
| <b>Sweden</b>   | 1999 | La fibra dietética es el material comestible que no puede ser degradada por las enzimas endógenas humanas, determinado con los métodos de la AOAC 985.29 y/o 997.08.   |
| <b>Food Standards Agency (U.K.)</b>                                     | 1999 | Fibra dietética se define como el material aislado por métodos de la AOAC 985.29 y 997.08.   |
| <b>Hignett (U.K. Food Standards Agency)</b>                             | 2000 | La fibra dietética es el material aislado por métodos de la AOAC 985.29 y / o 991.43, en conjunto con el método 997.08.  |
| <b>American Association of Cereal Chemists(AACC)</b>                    | 2001 | La fibra dietética es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta. Las fibras dietéticas promueven efectos beneficiosos fisiológicos como el laxante, y/o atenúa los niveles de colesterol en sangre y/o atenúa la glucosa en sangre.                                      |
| <b>Australia New Zealand Food Authority (ANZFA)</b>                     | 2001 | La fibra dietética es la fracción comestible de plantas o sus extractos, o los hidratos de carbonos análogos, que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano, por lo general con la fermentación completa o parcial en el intestino grueso. El término incluye polisacáridos, oligosacáridos ( $GP \geq 2$ ) y ligninas. La fibra dietética promueve uno o más de estos efectos fisiológicos beneficiosos: efecto laxante, la reducción de colesterol en la sangre, y/o modulación de la glucosa en sangre. |
| <b>Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria de los Alimentos (AFSSA)</b> | 2002 | La fibra dietética son polímeros de hidratos de carbono ( $GP \geq 3$ ) de origen vegetal con lignina u otros componentes no-hidratos de carbono (por ejemplo, polifenoles, ceras, saponinas, cutina, fitatos, fitoesteroles). Polímeros de hidratos de carbono ( $GP \geq 3$ ), procesados (por medios físicos, enzimáticos o químicos) o sintéticos. No tiene que digerirse ni se absorberse en el intestino delgado y debe  |

|  |      |   |
|--|------|---|
|  |      | tener al menos, una de las siguientes propiedades: estimular la fermentación colónica, reducir los niveles preprandiales de colesterol, reducir los niveles postprandiales de glicemia y/o insulina en la sangre.   |
| <b>Comisión del Codex Alimentarius</b> | 2009 | <p>Fibra dietética se entiende como polímeros de hidratos de carbono con diez o más unidades monoméricas, que no se hidrolizan por las enzimas endógenas en el intestino delgado de los seres humanos y pertenecen a las siguientes categorías.</p> <p>(1) Polímeros de hidratos de carbono comestibles que se encuentran naturalmente en los alimentos tal como se consumen.</p> <p>(2) Polímeros de hidratos de carbono, los cuales han sido obtenidos de materia prima alimentaria por medios físicos, enzimáticos o químicos y que se ha demostrado que tienen un efecto fisiológico beneficioso para la salud demostrado mediante pruebas científicas generalmente aceptadas por las autoridades competentes.</p> <p>(3) Polímeros de hidratos de carbono sintéticos que se ha demostrado que tienen un efecto fisiológico beneficioso para la salud, como se ha demostrado mediante pruebas científicas generalmente aceptadas por las autoridades competentes.</p> |

## **I.2 Composición**

A pesar de que el concepto de fibra dietética se ha debatido durante décadas, los constituyentes que en la actualidad se consideran parte de ella no son muy distintos de aquellos discutidos varias décadas atrás (Gray, 2006).

La naturaleza química de la fibra es compleja; la fibra dietética está constituida de una mezcla de entidades químicas y puede ser clasificado de maneras diferentes.

### **I.2.1 Clasificación con base en sus propiedades**

Una manera sencilla de clasificar a la fibra dietética es con base en sus propiedades y en ciertos casos puede proporcionar información útil (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010) (Tabla 2).

#### ***I.2.1.1 Soluble e insoluble***

Es una distinción usada comúnmente. Esta clasificación divide los tipos de fibra en función de su solubilidad en agua. El comportamiento de las distintas fibras en relación con el agua es muy diverso y depende de muchos factores, entre los que destacan los siguientes:

Los grupos hidroxilo presentes en la fibra, que establecerán puentes de hidrógeno con las moléculas de agua.

La presencia de grupos carboxílicos que permitirá interacciones iónicas más fuertes a través de su unión con iones metálicos y de éstos con el agua.

La estructura tridimensional de los polímeros, lineal o más o menos ramificada.

#### ***I.2.1.2 Fermentable y no fermentable***

Es una clasificación más reciente que separa a la fibra dietética en función de puede o no ser fermentada por la microbiota en el intestino grueso. Todos los tipos de fibra, a excepción de la lignina, pueden ser fermentados, aunque en general las fibras solubles lo son en mayor cantidad que las insolubles. En función de la fermentación, la fibra puede dividirse en:

Fibras no fermentables (<10%). Entre éstas destacan fibras insolubles, como la lignina, y algunas fibras solubles, como la metilcelulosa.

Fibras parcialmente fermentables (10% a 70%). Destacan las fibras insolubles ricas en celulosa. También se incluyen en este grupo, algunas fibras solubles, como el agar y otras fibras parcialmente solubles, como las semillas de Plantago.

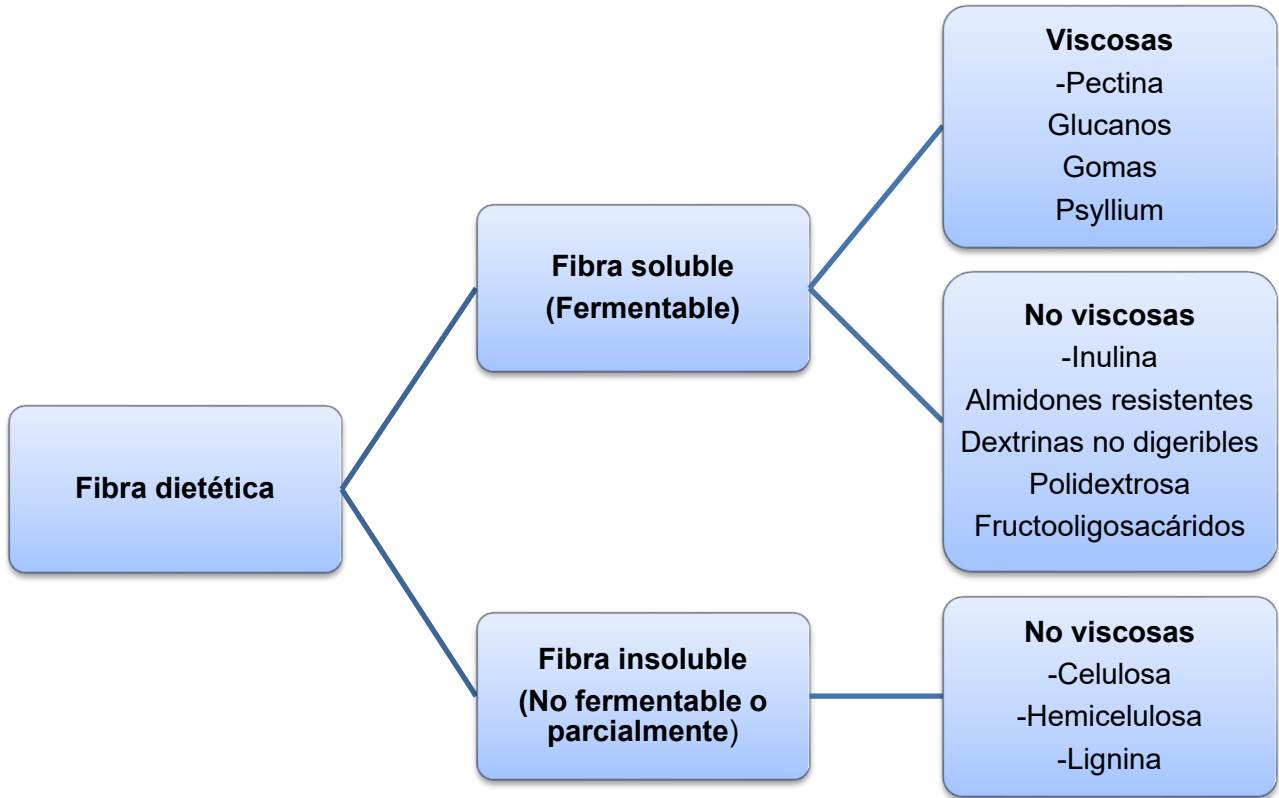


Fibras fermentables (>70%). Están constituidas siempre por fibras solubles ricas en hemicelulosa o ricas en ácidos glucurónicos

### 1.2.1.3 Viscoso y no viscoso

Es quizás la distinción menos utilizada y surge del hecho de que hay algún tipo de evidencia de que ciertos beneficios para la salud atribuidos a la fibra dietética podrían estar relacionados con su viscosidad (Megazyme, 2016).

| <b>Tabla 2. Clasificación de la fibra dietética (Li, 2010)</b>  |  |   |   |   |   |
|---|--|---|---|---|---|
| <b>Solubilidad (Dispersable en agua)</b>  |  | <b>Viscosidad (capacidad de retención de agua)</b>                |   | <b>Fermentabilidad (Digestión por bacterias en el intestino grueso)</b>   |   |
| Soluble   | Insoluble  | Viscoso   | No-viscoso                                    | Parcialmente fermentable  | Fermentable   |
| Glucanos en avena y cebada<br>Pentosas en centeno<br>Oligosacáridos en legumbres, cebolla, ajo.<br>Componentes de la fibra de vegetales, frutas, legumbres. | Celulosa, Hemicelulosa y lignina en trigo y arroz<br>Almidón resistente en granos enteros y legumbres. | Gomas<br>Goma<br>Xantana<br><i>Psyllum</i><br>Pectina<br>Celulosa | Inulina<br>Almidón resistente<br>Polidextrosa | Celulosa en vegetales, azúcares, granos<br>Hemicelulosa en cereales<br>Lignina en plantas leñosas<br>Almidón resistente en papas, granos, legumbres | B-glucanos<br>Pectinas en frutas, vegetales, papas<br>Gomas en legumbres, extractos<br>Oligosacáridos análogos. |



**Figura 1. Clasificación de la fibra dietética con base en sus propiedades  
(Mehta et al, 2015)**

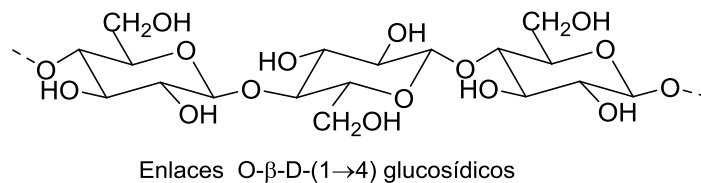
## 1.2.2 Clasificación con base en sus componentes

De manera usual la fibra dietética también puede clasificarse por los componentes que la conforman. Los constituyentes de la fibra dietética propuestos por la AACC (Lattimer y Haub, 2010) son:

### 1.2.2.1 Polisacáridos no amiláceos y oligosacáridos no digeribles

#### 1.2.2.1.1 Celulosa

Es un polisacárido lineal, no ramificado que consiste solo de unidades de D-glucosa; esta constituidos hasta por 10 000 unidades de monosacáridos por medio de enlaces  $\beta$ -1,4 (Figura 2). Las moléculas lineales están empaçadas juntas como fibras largas en una estructura que es muy insoluble y resistente a la digestión por las enzimas humanas (Gray, 2006). Es el componente más abundante de las paredes celulares de plantas superiores. En general, las verduras, frutas, leguminosas, frutos secos y los cereales aportan cantidades importantes de celulosa. Una proporción mayoritaria del salvado de cereales es celulosa (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010).



**Figura 2. Estructura de la celulosa**

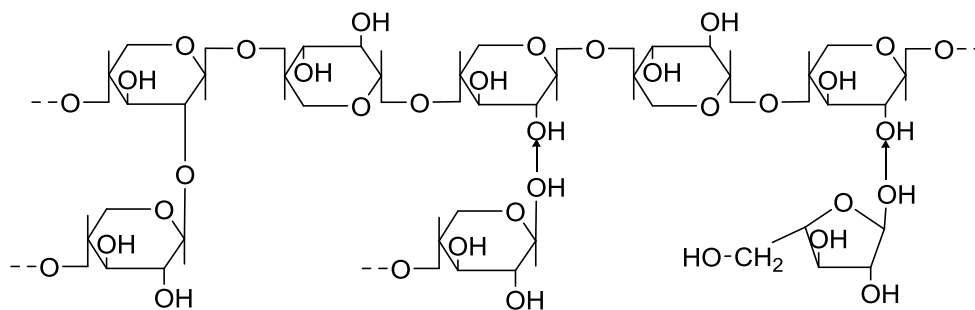
#### 1.2.2.1.2 Hemicelulosa

Son polisacáridos que contienen otros monosacáridos además de glucosa. Incluye moléculas lineales y ramificadas, más pequeñas que la celulosa; comúnmente contienen de 50 a 2 000 unidades de pentosa (xilosa y arabinosa) y de hexosa (glucosa, galactosa, manosa, ramnosa, ácidos glucurónico y galacturónico). Por lo tanto, el nombre hemicelulosa describe a un grupo heterogéneo de estructuras químicas que están presentes en los alimentos vegetales en forma soluble e insoluble en agua. Aproximadamente un tercio de la fibra dietética en las verduras, frutas, legumbres y nueces se compone de hemicelulosas.

Este grupo es a su vez muy heterogéneo pudiendo englobarse en él un conjunto de hemicelulosas neutras y ácidas (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010) (Figura 3).

- Hemicelulosas neutras, formadas por pentosanos de arabinosa y xilosa y por hexosanos, manosa y glucosa; por ejemplo los arabinoxilanos.
- Hemicelulosas ácidas, donde aparecen los ácidos galacturónico y glucurónico.

Las diferencias químicas entre ellas, hacen que los dos tipos de hemicelulosas tengan propiedades físicas y químicas diferentes y por tanto, distintos efectos fisiológicos. Algunos tipos de hemicelulosas se encuentran asociados a la celulosa como constituyentes de las paredes celulares.



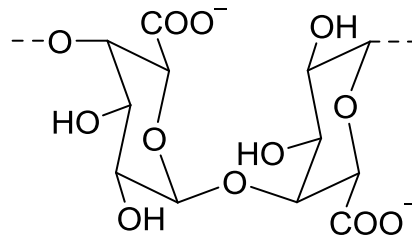
**Figura 3. Estructura química de la hemicelulosa**

#### 1.2.2.1.3 Pectinas

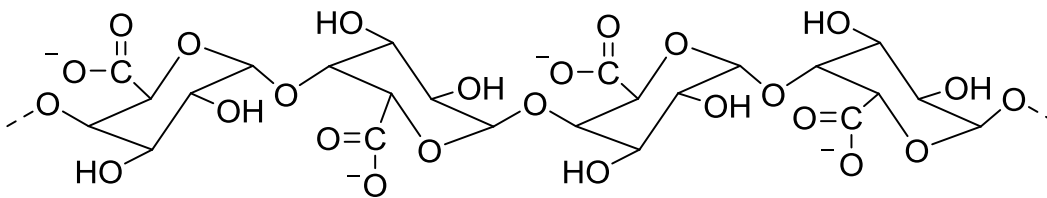
Son polisacáridos, los más solubles de la pared celular y pueden ser extraídos con agua caliente o agentes quelantes de calcio. Forman un grupo heterogéneo de polisacáridos. Las pectinas se componen de unidades repetitivas de ácido  $\alpha$ -D-galacturónico o ácido glucurónico con una cantidad variable de azúcares neutros (arabinosa, galactosa, xilosa) que se presentan como cadenas laterales. La ramnosa también puede estar presente en la cadena principal de la pectina (Figura 4) (Córdoba, 2005).

- Homogalacturonano (HG) es un polímero lineal formado por unidades de ácido galacturónico (GalU) unidos por un enlace  $\alpha$  (1-4) (Figura 5). Los galacturonanos sustituidos incluyen al xilogalacturonano y al apio-galacturonano que presentan un grado de ramificación en el esqueleto del ácido poligalacturónico.
- Ramnogalacturonano I (RG-I) es una pectina formada por la repetición del disacárido (1-2) $\alpha$ -L-Rha(1-4) $\alpha$ -D-GalU, donde los restos de la Rha funcionan como anclaje de largas cadenas laterales de arabinanos y/o arabinogalactanos (Figura 6).

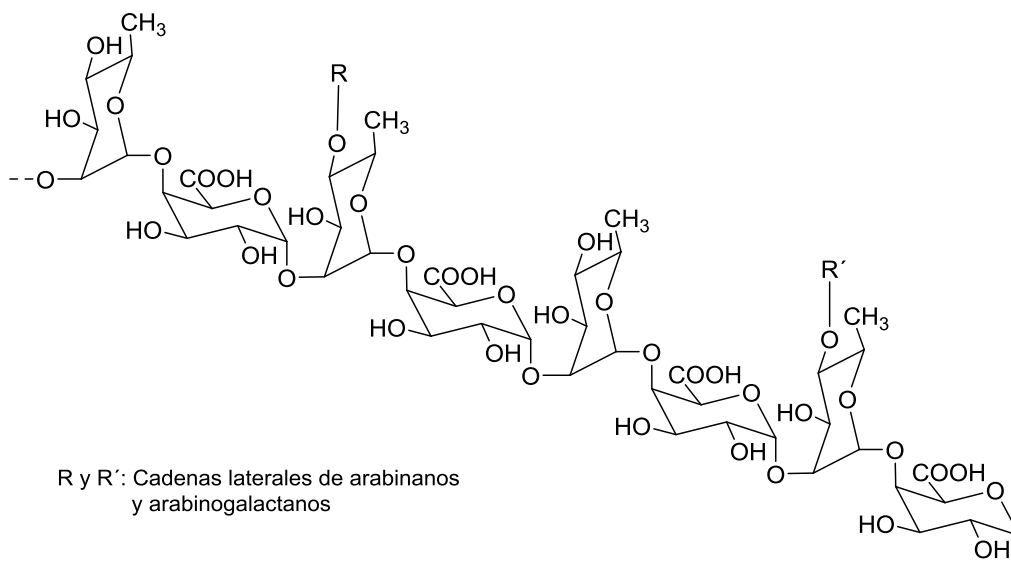
- Ramnogalacturonano II (RGII) es un polisacárido pequeño pero de estructura muy compleja formada por GalU, Rha, Ara, Gal y pequeñas cantidades de azúcares poco frecuentes como apiosa o ácido acérico (Figura 6). El arabinogalactano del RGII presenta ramificaciones en C3 y C6 de Gal y en C3 y C5 de Ara. Recientemente se ha sugerido que el RGI sería el componente al que se unirían otras pectinas tales como el HG o el RGII unidas covalentemente como cadenas laterales (Iglesias, Méndez, 2008)



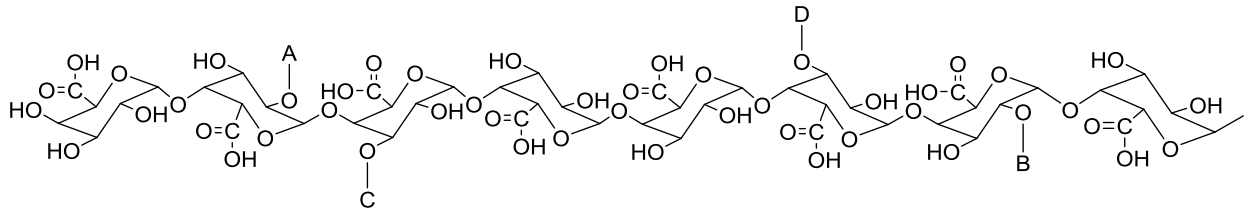
**Figura 4. Estructura base de las pectinas.**



**Figura 5: Cadena de homogalacturonano**



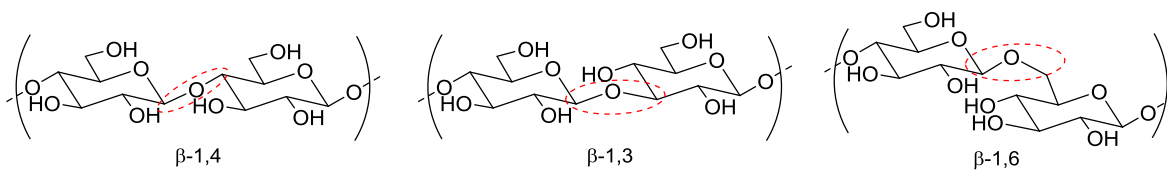
**Figura 6: Cadena de ramnogalacturonano I**



**Figura 6: Cadena de 8 moléculas de ácido galacturónico: ramnogalacturonano II**

#### 1.2.2.1.4 Beta-glucanos ( $\beta$ -glucanos)

Son polímeros de glucosa que a diferencia de la celulosa, los enlaces entre las unidades son variables, incluyendo  $\beta$  -1,4,  $\beta$  - 1,3 y  $\beta$  -1,6 (Figura 8) (Megazyme, 2016). Tienen una estructura ramificada y son de menor tamaño. Estas propiedades influyen en su solubilidad, permitiéndoles formar soluciones viscosas. Los  $\beta$ -glucanos son un componente principal del material de la pared celular en los granos de avena y cebada, pero están presentes en pequeñas cantidades en el trigo. Se ha generado interés en ellos como fuente de fibra soluble (Gray, 2006).



**Figura 8: Estructuras de  $\beta$ -glucanos**

#### 1.2.2.1.5 Gomas

Son polisacáridos complejos, siempre heterogéneos y ramificados, que contienen diversos azúcares neutros (no ionizables) y ácidos urónicos, que pueden estar metilados o acetilados. Proviene de la transformación de polisacáridos de la pared celular. La mayoría de las gomas se disuelven en agua, formando disoluciones viscosas. Son insolubles en disolventes orgánicos y se solidifican por desecación (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010).

Se incluyen en este grupo componentes que no suelen ingerirse con los alimentos naturales, sino que son el exudado que fluye naturalmente o por incisiones del tronco y las ramas de diversas plantas. De entre las diversas gomas, destacan las siguientes

## **Exudados**

- Goma arábiga: se obtiene de las acacias (*Acacia Senegal*)
- Goma de tragacanto: de *Astragalus gummifer*
- Goma esterculia: de *Sterculia tomentosa*

## **Semillas**

- Goma guar: de *Cyamopsis tetragonolobus* y *psolaroides*
- Goma de garrofin: *Hymenaea courbaril* Linneaus

## **Extractos de algas**

- Carrageninas: de las especies *Gigartina*, *Hypnea*, *Eucheuma*, *Chondrus* y *Iridaea*.
- Alginatos: de *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* y *Macrocystis pyrifera*

### **1.2.2.1.6 Mucílagos**

Son polisacáridos complejos en cuya composición entran azúcares como arabinosa y manosa, junto con ácidos urónicos, especialmente ácido galacturónico. Se consideran fibras solubles encontrándose en raíces, semillas y hojas de distintas especies vegetales (Mataix, Verdú y Gassull, 2005).

- Goma de xantana, elaborada por una bacteria *Xanthomonas campestris*.
- Ácido algínico y alginatos, que son polímeros de ácidos manurónico y gulurónico, elaborados por distintas especies de las Feoficeas (algas pardas), entre las que destacan *Laminaria digitata* e *hyperborea* (Laminariaceae), *Macrocystis pyrifera* (Lessoniaceae) y *Fucus serratus* y *vesiculosus* (Fucaceae)
- Carragenatos que son polímeros de galactosa sulfatados elaborados por las algas de la clase Rodofíceas (algas rojas) destacando el *Chondrus crispus* (Gigartinaceae)

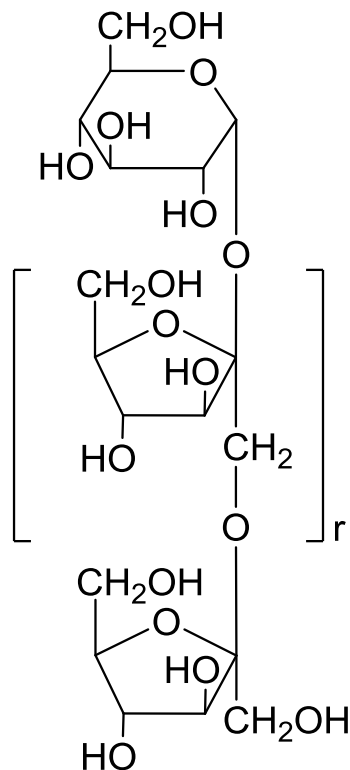
Entre las especies superiores productoras de mucílagos de interés también en alimentación, se encuentran:

- Diversas especies de *Plantago* (familia *Plantaginaceae*), como *Psyllium* (corresponde a las especies *P. psyllium* y *P. arenaria*), *Ispaghul* (correspondiente a la especie *P. ovata* o *P. isphagula*), *Plantago mayor* (corresponde a *P. mayor*) y *Plantago lanceolado* (corresponde a *P. lanceolata*)
- *Malva* (*Malva silvestris*) y *Altea* (*Althaea officinalis*) de las cuales se emplean las flores y las raíces.

- Tilo (*Tilia cordata* y *T. platiphyllus*), del cual se utilizan inflorescencias y brácteas.
- Lino (*Linum usitatissimum*), del cual se emplean semillas.

### 1.2.2.1.7 Fructanos

Son polímeros de fructosa derivados de la molécula de sacarosa. Los fructanos de plantas tienen diferentes estructuras y longitudes de cadena, que van de tres a pocos cientos de unidades de fructosa, con una gran variedad de enlaces y residuos fructosil (Figura 9). El término fructanos generalmente es usado para cualquier hidrato de carbono, en el cual los enlaces fructosil-fructosa constituyen la mayoría de los enlaces glicosídicos (Roberfroid, 2000). Los fructanos que son sintetizados en la naturaleza son solubles en agua y son azúcares no reductores. Los fructanos de distinto origen pueden diferir por el grado de polimerización, la presencia de ramificaciones, el tipo de enlace entre las unidades de fructosa adyacentes y la posición de los residuos de glucosa (Ulloa *et al.*, 2010).



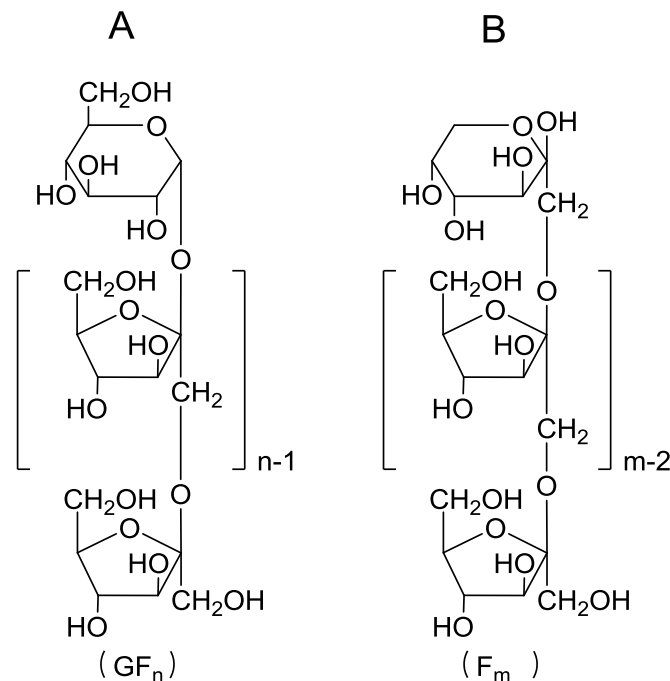
**Figura 9: Estructura de polifruktanos**



### 1.2.2.1.8 Inulina

Es un fructano con grado de polimerización 2 a 60, es decir que las unidades monoméricas pueden estar repetidas de dos hasta 60 veces formando la molécula (Muñoz, Ohmen *et al.*, 2012). Existen varios tipos de inulina en la naturaleza y ellos difieren en el grado de polimerización y peso molecular, la fuente, el tiempo de cosecha y las condiciones de procesamiento (Chiavaro *et al.*, 2007). Su origen puede ser vegetal o microbiano y dependiendo de ello podrían ser estructuras lineales, ramificadas o cíclicas.

En la inulina, las cadenas de fructosa tienen la particularidad de terminar en una unidad de glucosa unida por un enlace  $\alpha$ -(1-2) (residuo  $\beta$ -D-glucopiranosil) (Stephen *et al.*, 2006), como en la sacarosa, pero también el monómero terminal de la cadena puede corresponder a un residuo de  $\beta$ -D-fructopiranosil (Figura 10) (Madrigal y Sangronis, 2007).



**Figura 10. Estructura química de la inulina: con una molécula terminal de glucosa ( $\beta$ -D-glucopiranosil) (A) y con una molécula terminal de fructosa ( $\beta$ -D-fructopiranosil) (B)**

## **1.2.2.2 Hidratos de carbono análogos**

### **1.2.2.2.1 Almidón resistente**

El almidón y los productos de la degradación del almidón que no son absorbidos en el intestino delgado de los humanos sanos y que son fermentados en el colon se denominan almidón resistente. Los almidones resistentes no se hidrolizan en la etapa de la digestión humana, esto es porque las enzimas digestivas no son capaces de penetrar el polímero lineal de amilosa que se encuentra en alta proporción en este tipo de almidón (Anguera, 2007).

Se han identificado cuatro clases de almidón resistente: almidón físicamente inaccesible (RS1), gránulos de almidón nativo (RS2), almidón retrogradado (RS3) y almidón químicamente modificado (RS4) (Tabla 3).

Existen diferentes factores que hacen que el almidón sea resistente.

- **Factores intrínsecos.**

- a) Forma física del alimento: Existen almidones que por su localización en granos o semillas, completas o parcialmente molidas, o por estar en alimentos amiláceos de gran densidad o si las paredes celulares rígidas inhiben el hinchamiento y dispersión del almidón. Son moléculas inaccesibles o inatacables en su totalidad por las correspondientes enzimas digestivas, especialmente la amilasa pancreática. No existe modificación estructural del almidón, sino inaccesibilidad física del mismo al ataque digestivo.
- b) Tipo cristalino del almidón: el almidón se almacena en gránulos parcialmente cristalinos, es decir, siguiendo un modelo alternante de regiones cristalinas y amorfas. El tamaño y la naturaleza cristalina de los gránulos de almidón influyen su susceptibilidad al ataque enzimático. Esta estructura presenta tres tipos distintos de difracción de rayos x, A, B y C.
- c) Proceso de retrogradación: la mayoría de los almidones contienen entre un 15% y un 30% de amilosa, estando el resto constituido por amilopectina. Las cadenas de amilosa y amilopectina, modificadas estructuralmente en su conformación por la gelatinización, son fácilmente hidrolizables por las enzimas digestivas. Al enfriar comienza un proceso de recristalización, denominado retrogradación que es muy

rápido para la amilosa y es muy lento para la amilopectina, siendo este fenómeno responsable del endurecimiento del pan. Esta última fracción de almidón resistente, el retrogradado constituye entre los distintos tipos citados la fracción mayoritaria del almidón resistente.

- **Factores extrínsecos.**

Entre ellos pueden destacarse varios como la masticación, que determina la accesibilidad del almidón contenido en estructuras rígidas, el tiempo de tránsito desde la boca al íleon terminal, la concentración de amilasa en el intestino, la cantidad de almidón presente y la presencia de otros componentes alimentarios que pueden retrasar la hidrólisis enzimática (Mataix, Verdú y Gassull, 2005)

| <b>Tabla 3. Tipos de almidón resistente (RS por sus siglas en inglés) (Gray, 2006)</b> |   |
|--|---|
| <b>RS1</b>   | Almidón físicamente inaccesible, por ejemplo, encerrado dentro de estructuras celulares naturales en alimentos tales como semillas de leguminosas y granos y semillas de cereal parcialmente molidas.   |
| <b>RS2</b>   | Gránulos de almidón nativo (del tipo B), por ejemplo, maíz rico en amilosa, papas crudas, bananas verdes.   |
| <b>RS3</b>   | Amilosa retrogradada (y en menor grado, amilopectina) en alimentos procesados. Los almidones alimentarios pueden volverse parcialmente indigeribles mediante procesos físicos o químicos, por ejemplo, en el pan, hojuelas de maíz y papas o arroz cocidos y enfriados. |
| <b>RS4</b>   | Almidón modificado químicamente (incluido el almidón pirodextrinizado, pirolizado).   |

El consumo de almidón resistente (y/o su maltodextrina resistente) puede estimular el crecimiento de bacterias específicas que proporcionan efectos benéficos en la salud, como las bifidobacterias y los lactobacilos y tiene potencial para el control del azúcar en sangre, el control del colesterol, control de peso, gestión de la energía, los trastornos intestinales, y cáncer de colon (Quiroga, Ledezma, 2008).

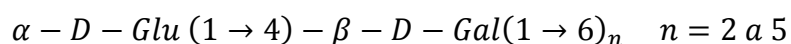
### 1.2.2.2.2 Oligosacáridos

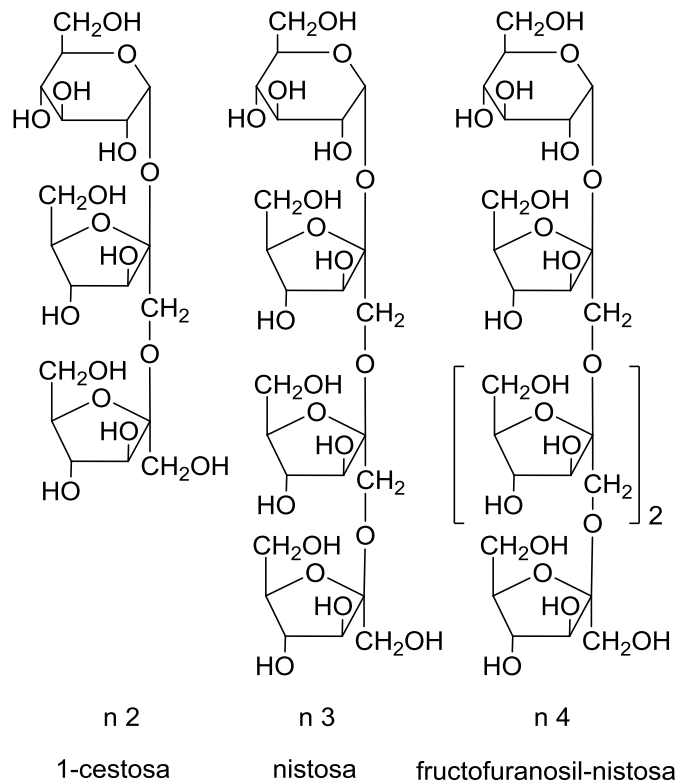
Existen dos tipos de oligosacáridos de importancia:

- Fructooligosacáridos (FOS): son oligosacáridos cuya fórmula general es GF<sub>n</sub> (una molécula de glucosa terminal y n unidades de fructosa unidas por enlaces β (2-1) o FF<sub>n</sub> (n moléculas de fructosa unidas por enlaces β (2-1)). La longitud de la cadena es variable y el número de moléculas de fructosa puede variar de 2 a más de 70 unidades. Los más importantes son 1-kestosa, nistosa y fructosilnistosa (Figura 11), los cuales están constituidos por una molécula de sacarosa y una, dos y tres fructosas respectivamente, unidas a la fructosa de la sacarosa en disposición línea (es decir, una molécula de glucosa y dos, tres y cuatro fructosas).

Este tipo de oligosacáridos se pueden obtener mediante producción in vitro, por transfructosilación enzimática a partir de la sacarosa, por hidrólisis de la inulina o, de manera natural, por fructosiltransferasas presentes en algunos vegetales como los espárragos, el puerro, la achicoria, la cebolla, el plátano o el ajo. Debido a que los FOS se encuentran en muchos de los alimentos de consumo habitual en la dieta de cualquier adulto, se clasifican legalmente como ingredientes alimentarios naturales y no como aditivos por las autoridades de la Comunidad Europea, siendo, además reconocidos como GRAS (Generally Recognised As Safe) en USA y como FOSHU (Foods of Specific Health Use) en Japón. (Cardelle, Cobas, 2009).

- Galactooligosacáridos (GOS): estos presentan una estructura semejante, en donde a una molécula de lactosa (glucosa y galactosa) se unen también en disposición lineal de una a cuatro galactosas mediante un enlace β (1-4). Este tipo de oligosacáridos se obtienen por transgalactosilación a partir de la lactosa, aunque también se encuentran presentes de forma natural en la leche humana y animal. Los galactooligosacáridos no se digieren en el aparato digestivo del ser humano, actuando como fibra dietética soluble (Cardelle, Cobas, 2009). Los GOS son reconocidos legalmente en todos los países de la Unión Europea como ingredientes alimentarios y no como aditivos debido a su presencia de forma natural en la leche materna, siendo además reconocidos también como GRAS en USA y como FOSHU en Japón (Tzortis y Vulevic, 2009).





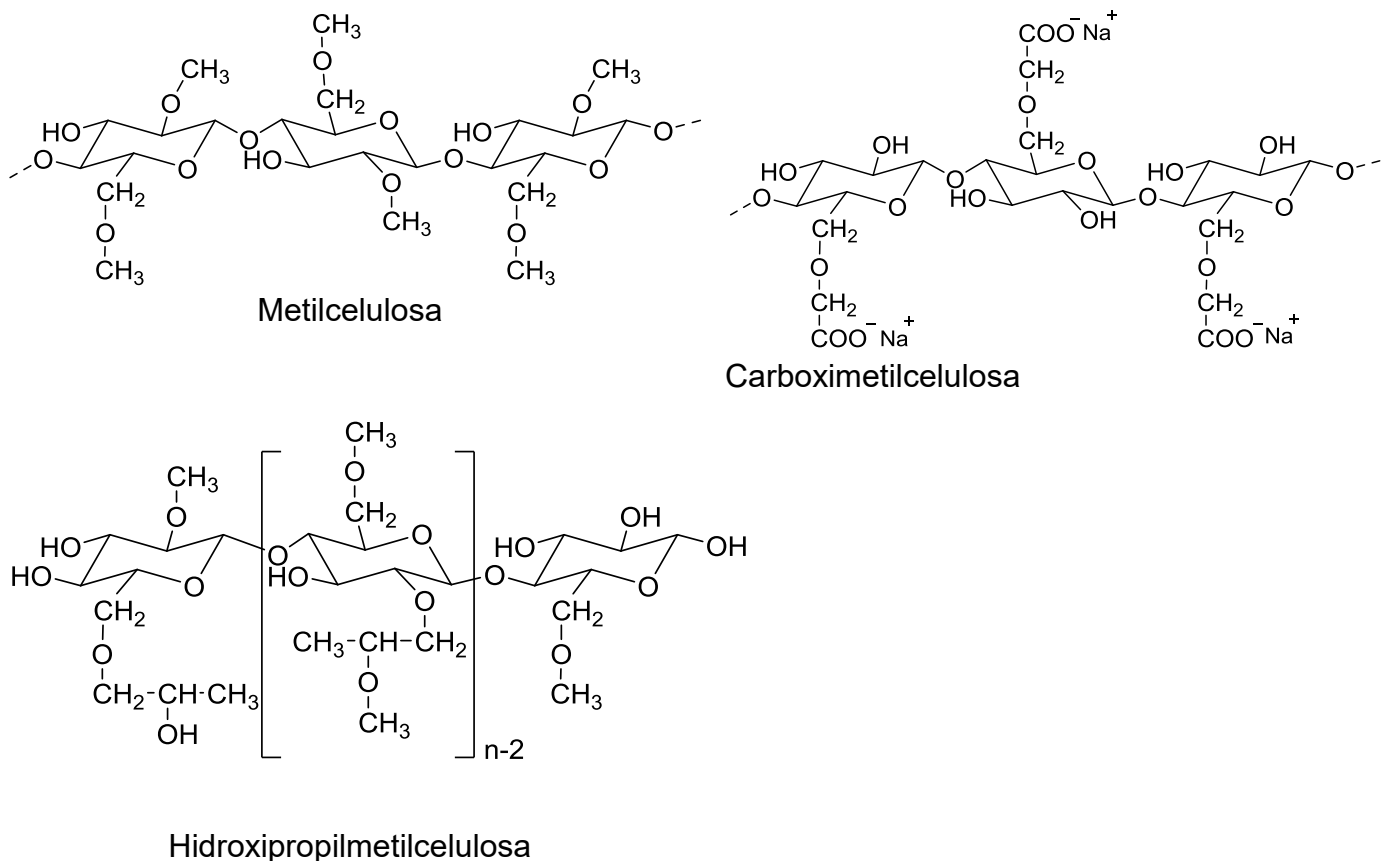
**Figura 11: Estructura química de los fructooligosacáridos**

#### 1.2.2.2.3 Dextrinas no digeribles

Se producen por calentamiento a pH alcalino y por el tratamiento enzimático de los almidones, tal como el de maíz y el de las papas, resultando con un grado de polimerización aproximadamente igual a 15. Estas dextrinas son los fragmentos restantes del almidón que no han podido ser hidrolizados debido a la presencia del enlace  $\alpha$  (1-6), por tanto tienen moléculas de glucosa con enlaces  $\alpha$  (1-4) y presentan uno o más puntos de ramificación mediante el enlace 1-6. La amilasa presente en la saliva y el jugo pancreático, que es específica para los enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1-4), no ataca los enlaces  $\alpha$  (1-6), como tampoco a los enlaces  $\alpha$  (1-4) de las unidades de glucosa que se encuentran en los puntos de ramificación. Los di-, oligo- y polisacáridos que no son hidrolizados por la  $\alpha$ -amilasa, alcanzan el tracto final del intestino, que a partir del íleon inferior contienen bacterias (Devlin, 2000; Feduchi, Canosa *et al*, 2010), por lo tanto estas moléculas son parcialmente no digeribles por las enzimas digestivas humanas y parcialmente fermentadas en el colon. Por consiguiente, se comportan fisiológicamente como fibra dietética (Gray, 2006).

#### 1.2.2.2.4 Componentes de hidratos de carbono modificados o sintéticos: Celulosas modificadas

Los derivados sintéticos de la celulosa, como la metilcelulosa y la hidroxipropilmetilcelulosa, no son digeribles (Figura 12). A diferencia de la molécula de origen, son solubles, pero difícilmente se fermentan por la microbiota colónica. La povidexosa es un polímero de hidratos de carbono no digeribles, con un promedio de polimerización de 12, sintetizado a partir de glucosa y sorbitol, utilizando un ácido orgánico, como el ácido cítrico, como catalizador. El resultado es una estructura compleja, resistente a la hidrólisis por parte de las enzimas digestivas humanas. Se fermenta parcialmente alrededor del 50% en el colon.



**Figura 12: Estructura de celulosas modificadas**

#### 1.2.2.3 Lignina y otras sustancias asociadas

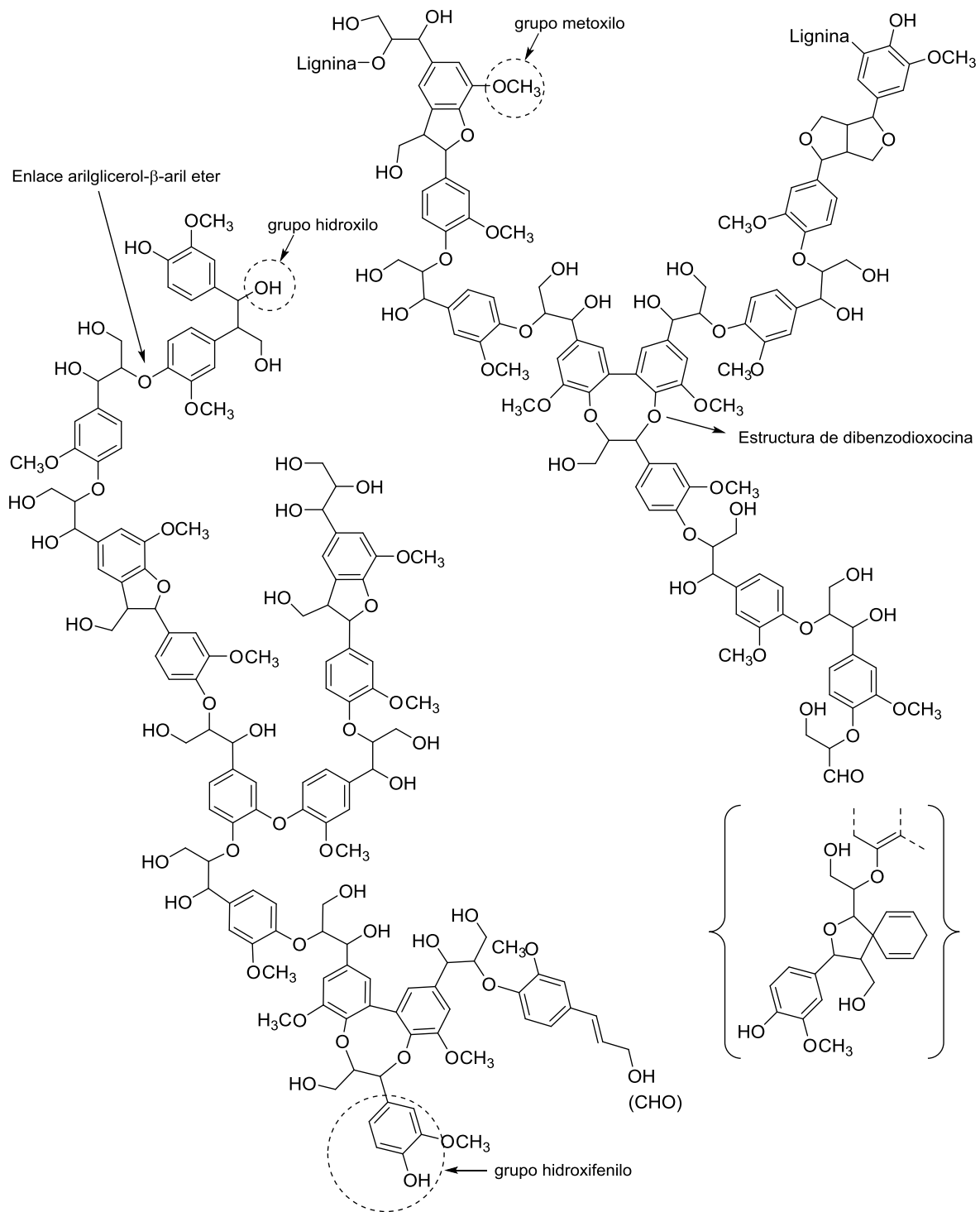
##### 1.2.2.3.1 Lignina

No es un polisacárido, pero está químicamente unida a la hemicelulosa en la pared de las células vegetales y, por lo tanto, está íntimamente asociada con los polisacáridos de la pared de las células vegetales (Gray, 2006). Las ligninas son macromoléculas, con elevado peso

molecular, que resultan de la unión de varios alcoholes fenil-propílicos (cumarílico, coniferílico y sinapílico) (Figura 13). El acoplamiento aleatorio de estos radicales da origen a una estructura tridimensional, de polímero amorfo, que es muy característica de las diferentes ligninas. Es el polímero natural más complejo en relación a su estructura y heterogeneidad (Mataix, Verdú y Gassull, 2005). Las ligninas son polímeros insolubles en ácidos y en álcalis fuertes, no se digieren ni se absorben y tampoco son atacadas por la microbiota del colon (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010)

#### *1.2.2.3.2 Sustancias asociadas*

Cuando la fibra dietética es de origen vegetal, puede incluir otros componentes (ceras, saponinas, fitatos, cutina, fitoesteroles) que está asociados con los polisacáridos de las paredes celulares vegetales y siempre que estos compuestos sean cuantificados por el método analítico gravimétrico de la AOAC para el análisis de la fibra dietética, se incluyen en la definición. Estas sustancias incluidas en la definición de fibra, cuando se extraen y aíslan o incluso cuando se reintroducen en un alimento que contiene polisacáridos no digeribles, no se pueden definir o describirse como fibra dietética (Gray, 2006).



**Figura 13. Modelo de la molécula de lignina**



## Capítulo II. Efectos benéficos atribuidos a las fibras dietéticas

---

El patrón de la dieta de los seres humanos se ha desplazado hacia una dieta en la que los granos refinados, carnes, grasas y azúcares añadidos son comunes y la ingesta de proteína, y fibra es baja. Este cambio del estilo de vida en la dieta y el cambio a una vida sedentaria son en gran parte responsable del aumento de la prevalencia de la obesidad y las enfermedades crónico-degenerativas, incluyendo la diabetes tipo 2, enfermedades del corazón y cáncer. Durante los últimos años, los enfoques dietéticos tradicionales se han investigado como un remedio a estas enfermedades crónicas. La literatura científica apoya la noción de que las dietas altas en fibra son importantes en la prevención y manejo de las enfermedades crónicas mencionadas (Kendall *et al.*, 2010). El consumo regular de fibra genera múltiples beneficios para el organismo y aun cuando la importancia de la fibra se ha difundido ampliamente, y a pesar de que en México existen alimentos disponibles y accesibles que forman parte de la cultura alimentaria y que son altos en fibra, los mexicanos consumen menos de la mitad de la cantidad diaria recomendada de este nutrimento.

La fibra no es un nutrimento, los beneficios de la fibra están vinculados a su falta de digestión y absorción en el tracto gastrointestinal superior (Slavin, 2013). Las organizaciones de salud en todo el mundo recomiendan el aumento del consumo de fibra dietética. De acuerdo con el Comité de Expertos FAO/OMS, la recomendación diaria de fibra dietética total para adultos es de 25 g/día. El intervalo de recomendaciones entre diversos países alrededor del mundo va desde 21 a 40 g/día (FAO/WHO, 2007). En el caso de México, los expertos en nutrición recientemente han publicado su recomendación de consumo en diferentes grupos de edad (Tabla 4).

El beneficio potencial para los seres humanos varía con la fuente de alimentación, el tipo de fibra y la función fisiológica. Los beneficios directos de consumir alimentos ricos en fibra se pueden clasificar en dos categorías (Mateu de Antonio, 2004; McBurney, 2010; Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010):

**Tabla 4. Recomendaciones de ingestión de fibra para población en México (Bourges *et al.*, 2009)**

| <b>Grupo de edad/años</b>    | <b>Hombres/g/día</b> | <b>Mujeres/g/día</b> |
|------------------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Niños 2 a 4</b>           | 14                   | 14                   |
| <b>Niños 5 a 8</b>           | 18                   | 18                   |
| <b>Niños 9 a 13</b>          | 22                   | 22                   |
| <b>Adolescentes 14 a 18</b>  | 30                   | 26                   |
| <b>Adultos 19 a 50</b>       | 35                   | 30                   |
| <b>Adultos mayores de 50</b> | 30                   | 26                   |

1. Efectos en el intestino delgado y estómago:

En general en esta parte de la digestión, las fibras solubles, forman soluciones viscosas o geles cuando se combinan con agua. Por el contrario, las fibras insolubles van a actuar como una “esponja” de forma que el agua queda retenida en su matriz estructural, formando mezclas de baja viscosidad. En consecuencia, la ingesta de fibra dietética va a generar un incremento en el volumen de los contenidos luminales, con la consiguiente distensión de las paredes del tracto gastrointestinal. El resultado final será la estimulación de los correspondientes reflejos que facilitan la sensación de saciedad y que aceleran el tránsito de los contenidos en los intestinos delgado y grueso. Por otra parte, se ha propuesto que la formación de soluciones viscosas por la fibra soluble en el estómago constituye el principal factor responsable del retraso del vaciamiento gástrico que ocurre tras su ingesta. Además, el mayor volumen y viscosidad de los contenidos que alcanzan los segmentos intestinales, junto con la aceleración del tránsito en el intestino delgado, dificultan el contacto del nutrimento con las enzimas digestivas o con la superficie intestinal. Estas acciones pueden ser las responsables de la ralentización en la absorción de determinados nutrimentos, como la glucosa o el colesterol.

2. Efectos en el intestino grueso:

La fibra dietética llega al intestino grueso de forma inalterada y aquí las bacterias del colon, con sus enzimas de gran actividad metabólica, pueden digerirla en mayor o menor medida dependiendo de su estructura. Este proceso de digestión se produce en condiciones

anaerobias, por lo que se denomina fermentación. La fermentación es la propiedad más importante de un gran número de fibras solubles, ya que de ella derivan multitud de efectos tanto locales, como sistémicos que tendrá.

El proceso de fermentación de la fibra en el colon es fundamental, gracias a él se produce el mantenimiento y el desarrollo de la microbiota bacteriana, así como de las células epiteliales del colon (colonocitos). Como resultado de esta fermentación bacteriana, se produce hidrógeno, dióxido de carbono, metano y ácidos grasos de cadena corta (AGCC) mayoritariamente acetato, propionato y butirato, en una proporción molar casi constante 60:25:14, respectivamente, si bien ésta se puede alterar por cambios en la dieta. Los AGCC presentan importantes efectos que son necesarios para el buen funcionamiento intestinal.

El lugar del colon donde se produce la fermentación es un aspecto importante; así, las fibras muy fermentables son metabolizadas, principalmente, en el ciego y en el colon ascendente, por lo que las concentraciones de AGCC son mayores en las primeras porciones del colon y van disminuyendo hacia la parte distal del colon. Sin embargo cuando la fibra muy fermentable se combina con otra fibra menos fermentable, el proceso de fermentación se produce a lo largo de todo el colon, lo que permite que se produzca la exposición de estos compuestos en toda la longitud del epitelio colónico.

Debido a lo anterior en este capítulo se presentará una descripción de las enfermedades en las cuales en el consumo de fibra ha mostrado una disminución en la incidencia de las mismas.

## **II.1 Efectos gastrointestinales**

La fibra dietética es conocida por su asociación con la salud digestiva, la cual es definida por The American Gastroenterological Association como "un sistema digestivo que tiene una apropiada absorción de nutrimentos, motilidad intestinal, función inmune y una equilibrada microbiota".

Por otro lado, las alteraciones gastrointestinales se derivan de un mal funcionamiento del estómago o intestino, que provoca molestias no causadas por una lesión en el aparato digestivo. Estas molestias pueden ser debidas a diversas causas, como la alimentación, estrés o cambios en nuestros hábitos (Bayer, 2016). Una dieta equilibrada tiene un papel importante en el mantenimiento de la salud digestiva y la prevención de síntomas digestivos surgidos de no experimentar regularidad digestiva, síntomas tales como ardor de estómago,

ruidos, náuseas, hinchazón, flatulencia, estreñimiento, diarrea, o dolor abdominal y malestar (Dahl y Stewart, 2015).

Dependiendo del tipo de dieta, los alimentos tardan entre un día y medio hasta tres días en recorrer la longitud completa del tracto digestivo (Casanueva *et al*, 2008). La fibra ayuda a que los alimentos sigan su recorrido por el sistema digestivo y aumenta el volumen del bolo para que los alimentos no digeridos puedan ser eliminados más fácilmente, juega un papel vital en mantener saludables las paredes del tracto digestivo, además de que una dieta alta en fibra puede ayudar a reducir la sensación de inflamación (Jefferson, 2005).

### **II.1.1 Estreñimiento**

El estreñimiento se presenta cuando la defecación es difícil de modo persistente, infrecuente o bien incompleto. Consiste en el paso de heces duras, defecación dolorosa o con una frecuencia inferior a 3 veces por semana, acompañándose o no de incontinencia fecal.

Tanto la fibra fermentable como la fibra poco fermentable son eficaces en la prevención y el tratamiento del estreñimiento, pero el mecanismo por el que ejercen su efecto es distinto. La fibra poco fermentable, en general insoluble, incrementa la masa intestinal de manera directa y de esta forma, acelera el tránsito intestinal, al estimular los movimientos propulsores y disminuir los movimientos mezcladores. La fibra muy fermentable, en general soluble, es la que más aumenta de volumen por su gran capacidad para retener agua, pero su estructura se destruye al ser fermentada en el colon y pierde esta propiedad. No obstante, aumenta la masa intestinal al favorecer el crecimiento bacteriano. Además, los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) generados como consecuencia de su fermentación tienen un efecto directo sobre la motilidad intestinal colónica y los distintos gases generados ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  y  $\text{CH}_4$ ) al quedar atrapados en el contenido intestinal e impulsar la masa fecal actúan como bomba de propulsión (Escudero, Álvarez y Gonzáles, Sánchez, 2006).

Los suplementos de fibra como el salvado de cereales, las semillas de *P. ovata*, o la metilcelulosa, constituyen la medida de elección en el tratamiento del estreñimiento funcional o en situaciones especiales, como la gestación o cuando la ingesta de comida se reduce, ya que, reducen el tiempo de permanencia de los alimentos en el sistema digestivo, que cuando se prolonga causa una sensación incómoda de inflamación.

Es importante la interacción entre la fibra soluble y la insoluble, pues la matriz constituida por la fibra insoluble facilitaría el contacto entre las bacterias y la porción soluble para su fermentación (Vilaplana, 2006).

### ***II.1.2 Diverticulosis***

Se refiere a la presencia de pequeñas bolsas o sacos que crecen hacia fuera (llamados divertículos) y pueden desarrollarse en el revestimiento del tracto gastrointestinal. Si bien puede haber divertículos en cualquier parte del tracto digestivo, su presencia es más común sobre el lado izquierdo del intestino grueso, zona conocida como colon descendente y sigmoide (American College of Gastroenterology, 2016). La diverticulosis del colon se caracteriza por hernias en la pared del colon, que normalmente son asintomáticas. Pueden ocasionar dolor cuando se inflaman como resultado de la acción bacteriana, condición conocida como diverticulitis, es la enfermedad cólica más frecuente en Occidente y llega a afectar al 10% de la población, en cuyo caso es más frecuente en personas obesas.

No se conoce bien el mecanismo responsable de este trastorno, pero en su patogenia intervienen probablemente alteraciones anatómicas intrínsecas del colon y trastornos de la función motora.

El hecho de que la enfermedad diverticular del colon afecte con mayor frecuencia a las sociedades industrializadas del mundo occidental ha hecho considerar que un bajo consumo de fibra constituye un factor de riesgo. Los consumos de dietas refinadas con bajo contenido en fibra se asocian a un tránsito lento y a un escaso volumen de heces.

Existe evidencia de estudios tanto observacionales como de intervención de que la ingesta de fibra dietética protege contra el trastorno y alivia los síntomas. Las fibras no viscosas tal como la celulosa son particularmente eficaces, presentes en el salvado de cereales. Estos efectos protectores pueden involucrar el aumento del peso de las deposiciones, una disminución del tiempo de tránsito y una disminución de la presión intracolónica.

Cuando existe un residuo insuficiente, el colon responde con la generación de contracciones más fuertes para poder propulsar distalmente el pequeño volumen de contenido intestinal. La cronificación de esta situación lleva a una hipertrofia muscular colónica y a una alteración de su funcionamiento, junto con un aumento de la presión intracolónica. Este último hecho promueve la formación de los divertículos o herniaciones de la mucosa, como resultado de la salida de la mucosa a través de la capa muscular circular intestinal en los puntos débiles de

la musculatura, como los lugares donde los vasos sanguíneos perforan la pared muscular (Parra y Nicolás, 2012).

La ingesta adecuada de fibra ayudaría a disminuir la presión intraluminal del colon, evitando la formación sacular a través de la pared intestinal, ya que se requiere una menor fuerza contráctil de tipo propulsivo para promover el avance. La fibra insoluble más útil en la enfermedad diverticular parece ser la proveniente de frutas y verduras y en menor grado la procedente de los cereales integrales (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010).

La patogénesis de la enfermedad diverticular es probablemente multifactorial y compleja. Se necesitan más estudios para evaluar el papel de la fibra en la patogénesis y el tratamiento de la enfermedad diverticular. La búsqueda de un tratamiento médico eficaz para prevenir la diverticulitis recurrente se está investigando activamente (Mosadegh *et al*, 2015).

### **II.1.3 Enfermedad inflamatoria intestinal**

La enfermedad inflamatoria intestinal (EII) representa un grupo de afecciones intestinales inflamatorias crónicas idiopáticas. Las dos categorías nosológicas principales que cubre el término son la enfermedad de Crohn (EC) y la colitis ulcerosa (CU); ambas presentan rasgos clínico-patológicos que se superponen y otros que difieren claramente. Hay un tercer grupo denominado colitis indeterminada (CI) que incluye manifestaciones clínicas comunes a ambas y que ocasionalmente al evolucionar en el tiempo puede ser identificada como una u otra (Jasinski *et al*, 2004). La patogenia de la EII no se comprende completamente. Hay factores genéticos y ambientales, como la modificación de las bacterias luminales y el aumento de la permeabilidad intestinal, que juegan un importante papel en la mala regulación de la inmunidad intestinal, lo que lleva a lesión gastrointestinal (Bernstein *et al*, 2009).

La heterogeneidad de estas entidades justifica que en los tratados más modernos se hable de las “enfermedades inflamatorias intestinales” en plural (Gomollón y Sans, 2012).

- La colitis ulcerosa afecta sólo al colon, es una enfermedad predominantemente mucosa, su síntoma fundamental es la rectorragia, y puede clasificarse de acuerdo a su extensión (proctitis, colitis izquierda, y colitis extensa) y a su gravedad: silente, leve, moderada, o grave.

- La enfermedad de Crohn puede afectar a cualquier tramo del intestino, aunque su localización más frecuente es el íleon. En este caso se trata de una enfermedad transmural y sus síntomas fundamentales son la diarrea y/o el dolor abdominal. Su clasificación debe realizarse en orden a su localización (ilecólica, ileal, cólica, perianal, o de otras localizaciones), de su patrón clínico (inflamatorio, estenosante o fistulizante), y de su gravedad (leve, moderada, grave).
- La colitis indeterminada es una entidad inflamatoria del colon que no puede llegar a clasificarse claramente como CU o EC. Representa alrededor del 10% de los casos de afección inflamatoria crónica idiopática. El concepto colitis indeterminada debe reservarse para aquellas colitis intervenidas quirúrgicamente en las que sea imposible establecer definitivamente si se trata de EC o CU.

Independientemente de la causa que genera estas enfermedades, está establecido que antígenos presentes en el lumen, probablemente procedentes de la microbiota bacteriana intestinal, originan una respuesta inmunitaria exagerada y descontrolada que se caracteriza por una activación de la síntesis y la liberación de numerosos mediadores proinflamatorios. Dado que los ácidos grasos de cadena corta y en particular el butirato participan en el funcionamiento intestinal normal y constituye la principal fuente de energía para el colonocito, se ha intentado establecer una relación entre la EII y la alteración en la producción de los ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Algunos estudios han encontrado que en los pacientes con colitis ulcerosa, las concentraciones de AGCC en el lumen colónico son inferiores a las normales, lo que puede deberse a la ingesta de una dieta pobre en fibra, sin embargo, aún existe controversia sobre la evolución de la EC y su relación con el efecto de las dietas. En cambio, en la CU la restricción de fibra puede ser desfavorable (Valenzuela y Maíz, 2006). Roediger planteó en 1980 la hipótesis del colonocito hambriento. El ácido butírico y los restantes AGCC (acetato, propionato) aportan el 80% de los requerimientos energéticos del colon y en la CU existiría un defecto en la oxidación de estos ácidos grasos. Basándose en esta teoría, diversos estudios han valorado la efectividad terapéutica de los enemas de AGCC en pacientes con CU. A su vez, se ha comprobado la eficacia de las semillas de *Plantago Ovata* en el mantenimiento de la remisión en pacientes con CU. De igual forma se ha documentado la posible utilidad de una nutrición enteral polimérica suplementada con goma guar, con el fin de lograr una mejoría en parámetros histológicos

como afectación epitelial y grado de inflamación (Gómez *et al*, 2002). La respuesta favorable se podría explicar principalmente por el incremento de la producción de los ácidos grasos de cadena corta sobretodo en el colon ascendente.

En la actualidad, no se dispone de estudios epidemiológicos que establezcan una relación entre la cantidad de fibra ingerida y la incidencia de EII, por lo que resulta evidente que se necesitan más estudios en este sentido, sin embargo se han realizado distintos ensayos clínicos con fibra en pacientes con colitis ulcerosa, que han generado evidencia en relación a la utilidad de la fibra en la colitis ulcerosa.

#### **II.1.4 Síndrome del intestino irritable**

El síndrome del intestino irritable (SII) es un trastorno funcional digestivo que se caracteriza clínicamente por la asociación de dolor o molestia abdominal y alteraciones en el hábito deposicional. Se incluye entre los trastornos funcionales porque no se conoce que tenga una causa orgánica, y en la actualidad parece deberse a anomalías de la función digestiva, especialmente de la motilidad o de la sensibilidad (Mearin, Manrique, 2007).

Se desconoce su etiología y se cree que es de causa multifactorial. En los últimos años, la mayoría de los clínicos han utilizado los denominados criterios de Roma, fruto de una labor llevada a cabo por comités de expertos que se reúnen periódicamente en Italia. En 1992 se publicaron los criterios de Roma I, en 1999 los criterios de Roma II y en 2006 los criterios de Roma III (Mearin y Montoro, 2012). Se identifican distintos subtipos de SII, ya sea predominantemente con estreñimiento (SII-E), diarrea (SII-D), o mixto (SII-M). En cualquier caso afecta seriamente la calidad de vida de quien lo padece (IMSS, 2015).

Los requerimientos para establecer las diferentes categorías de SII son:

- 1) SII con predominio de estreñimiento (SII-E): heces duras  $\geq 25\%$  de las ocasiones/heces “sueltas” o acuosas  $\leq 25\%$  de las ocasiones. Hasta un tercio de los casos. Más común en mujeres.
- 2) SII con predominio de diarrea (SII-D): heces “sueltas” o acuosas  $\geq 25\%$  de las ocasiones/heces duras  $< 5\%$  de las defecaciones. Hasta un tercio de los casos. Más frecuente en hombres.
- 3) SII con patrón alternante (SII-M): heces duras  $\geq 25\%$  de las ocasiones/heces “sueltas” o acuosas  $\geq 25\%$  de las ocasiones. De un tercio a la mitad de los casos.



4) SII con patrón indefinido: anormalidad insuficiente de la consistencia de las deposiciones para reunir los criterios expuestos para el resto de las categorías (Mearin y Montoro, 2012; Quigley, 2009)

Diversos estudios han evaluado los efectos de los diferentes tipos de fibra (solubles e insolubles) en la mejoría global y sintomática de los pacientes con SII, en especial en pacientes con SII-E; en general, mejora la sintomatología, a excepción del dolor abdominal. En estos casos, la evidencia apoya más el empleo de suplementos de fibra soluble como *Ispaghula* o *Psillium* y no con la insoluble como salvado de trigo y fibra de maíz (Mearin y Montoro, 2012).

La pauta recomendada es comenzar con dosis bajas que pueden incrementarse a lo largo de varias semanas, hasta alcanzar un máximo de 20 a 30 g de fibra en las 24 h para la regularización del tránsito intestinal. Incluso un uso excesivo de la fibra puede exacerbar algunos de los síntomas del SII como la flatulencia. Sin embargo los estudios realizados hasta el momento han sido muy heterogéneos, por lo que resulta necesario mejorar su diseño, a fin de obtener resultados más concluyentes en cuanto al papel que desempeña la fibra dietética en esta enfermedad.

## **II.2 Enfermedades cardiovasculares**

Las enfermedades cardiovasculares, incluyen el infarto coronario (CHD, Coronary Heart Disease), derrames cerebrales e hipertensión, que afectan a más de 80 millones de personas y son las principales causas de morbilidad y mortalidad en los EE.UU. En 2005, el CDH fue la principal causa de muerte, mientras que los accidentes cerebrovasculares fueron la tercera. Mientras que el CHD es la causa más frecuente de muerte, los principales factores de riesgo son fácilmente modificables, como el estilo de vida que incluye la dieta, la actividad física y el abuso del cigarrillo y al último los patrones genéticos (Anderson *et al*, 2009). Sobre la base de comparaciones entre la prevalencia de cardiopatía coronaria y los hábitos dietéticos, Towell postuló que los alimentos ricos en fibra son de protección contra las enfermedades del corazón (Anderson, 2004).

La ingesta de fibra dietética se asoció inversamente con los riesgos de eventos coronarios. De acuerdo al Instituto de Medicina de los Estados Unidos (2002) y también según el Consejo de Salud de Holanda (2006), un efecto inverso de la ingesta total de fibra sobre el riesgo de cardiopatía coronaria es suficientemente aceptable para servir como base para las guías de ingesta de fibra dietética. La fibra de los cereales y frutas parece ser de particular importancia. Se han propuesto varios mecanismos para explicar el efecto protector aparente de la fibra dietética sobre el sistema cardiovascular, los cuales podrían dar como resultado la disminución del riesgo de cardiopatía coronaria (Gray, 2006).

El aumento en el consumo de fibras altamente viscosas, tales como los  $\beta$ -glucanos, las pectinas y la goma guar se asocian con reducciones significativas de los niveles de colesterol sanguíneo de sujetos normales, con sobrepeso y obesos, así como también en sujetos con hiperlipidemia. Muchos estudios de intervención en humanos han mostrado que las fibras viscosas aisladas ( $\beta$ -glucanos, salvado de avena, pectinas, goma guar y psyllium) tienen propiedades reductoras del colesterol, pero solo si su ingesta es mucho más alta que los niveles consumidos en las dietas más habituales. No obstante, la dieta con un alto contenido de fibra presenta también efectos beneficiosos secundarios derivados de la menor ingesta de grasa como la pérdida de peso, un mejor control de la presión arterial y disminución de la resistencia a la insulina (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010).

La fibra soluble tiene la virtud de facilitar la pérdida de ácidos biliares interrumpiendo su circulación enterohepática y con ello la tasa de absorción de los lípidos de la dieta. Como consecuencia, el aporte de colesterol y triglicéridos transportado es menor. Cuando la fibra llega al duodeno, secuestra los ácidos biliares en el interior de su matriz; como consecuencia, aumenta su excreción con las heces, disminuyendo la cantidad que llega al hígado por la vía enterohepática. Los tipos de fibra capaces de atrapar los ácidos biliares son las fibras viscosas como las pectinas o las gomas y las fibras ricas en lignina. El secuestro de los ácidos biliares por la fibra tiene un doble efecto en el metabolismo del colesterol. En primer lugar, para compensar su pérdida por heces, las células hepáticas se ven forzadas a formar más ácidos biliares primarios a partir de colesterol y si este incremento en la degradación del colesterol no es compensado mediante un aumento en su síntesis, tiene que captarlo del colesterol circulante, por lo que sus niveles plásmaticos disminuyen. En segundo lugar, cuando las sales biliares son adsorbidas por la fibra dietética en el intestino delgado,

se forman interacciones micelares que impiden que las grasas se puedan emulsionar y como consecuencia, disminuirá la absorción del colesterol biliar procedente de los alimentos y de todos los lípidos en general (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010).

El colesterol de la dieta es secuestrado por los geles viscosos de la fibra en el estómago y el duodeno, por lo que la solubilización micelar por los ácidos biliares será más difícil, lo cual sumado al hecho de que existe una menor cantidad de ácidos biliares, disminuirá el transporte de colesterol hacia la membrana absorptiva. Cuando el colesterol es capaz de alcanzar la membrana del yeyuno, su absorción se ve comprometida, debido al aumento de espesor de la capa superficial de agua que baña la mucosa. Cuando el colesterol secuestrado por la fibra, alcanza el ciego, la microbiota bacteriana destruye la fibra soluble y se libera el colesterol, pero a ese nivel la capacidad de absorción es muy reducida. En cuanto a la inhibición de la síntesis de colesterol, la principal enzima que regula la síntesis de colesterol hepático es la  $\beta$ -hidroxi- $\beta$ -metilglutaril coenzima A reductasa (HMG-CoA reductasa). Esta enzima cataliza la producción de mevalonato a partir de HMG-CoA y su actividad aumenta cuando existe una baja concentración de colesterol en los hepatocitos. La fermentación bacteriana de la fibra en el colon da como resultado un aumento en la producción de ácidos grasos de cadena corta. En diversos estudios experimentales se ha observado que el propionato, tras ser absorbido desde el colon a la circulación portal, puede actuar inhibiendo a la HGM-CoA reductasa, disminuyendo la síntesis de nuevo colesterol (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010)

Para la mejoría en el control de la presión arterial, algunos estudios han demostrado una asociación entre el consumo de fibra y una reducción de la presión arterial. Esta relación se ha señalado, sobre todo, con la ingestión de avena. Sin embargo, la mayoría de los ensayos clínicos efectuados proponen que el efecto hipotensor de estas dietas se debe más a la pérdida de peso que a la actuación directa de la fibra. En contraste, las recomendaciones del ensayo DASH (Dietary Approaches to Stop Hypertension) señala que una dieta alta en fibra y baja en grasas es muy efectiva para reducir la presión arterial y se propone que la pérdida de peso, junto con una dieta baja en grasas y alta en alimentos ricos en fibra puede ser necesaria para reducir de forma significativa la presión arterial (Sacks *et al.*, 2001).

Por otro lado, la resistencia a la insulina es uno de los factores implicados en una serie de anormalidades relacionadas con la enfermedad cardiovascular. Numerosos trabajos señalan que la fibra mejora la resistencia a la insulina, lo que implicaría un mejor control de este síndrome plurimetabólico, previniendo la incidencia de las enfermedades cardiovasculares.

El mecanismo de la fibra en el aumento en la sensibilidad a la insulina no está del todo entendido; sin embargo, se ha postulado que algunas fibras viscosas en las comidas, tales como la goma guar, aumentan su viscosidad y retrasan el vaciamiento gástrico y la digestión intestinal. Se ha sugerido que estos efectos moderan y prolongan la liberación postprandial de la glucosa en la circulación, lo que reduce la respuesta de la insulina.

Las fibras de los granos enteros son fermentadas por las bacterias en el intestino grueso para producir ácidos grasos de cadena corta. Se ha demostrado en los hepatocitos que el aumento de la exposición a los ácidos grasos de cadena corta aumenta la oxidación de la glucosa, disminuye la liberación de ácidos grasos libres y promueve la sensibilidad a la insulina.

### **II.3 Cáncer**

El efecto de la fibra alimentaria en el cáncer de colon y recto ha sido objeto de controversia. La carcinogénesis es un proceso biológico complejo que en algunos casos se produce por mutaciones genéticas heredadas, pero también está influenciada por factores ambientales, entre ellos, la dieta.

El cáncer colorrectal es una entidad patológica que afecta significativamente a la humanidad y que hasta nuestros días, a pesar del desarrollo tecnológico, la implementación de nuevas herramientas terapéuticas y el avance farmacológico conlleva a una alta mortalidad. A nivel mundial el cáncer colorrectal es la tercera causa de muerte por cáncer en ambos sexos, pero en países desarrollados llega a ser la segunda (Calva, Arcos y Acevedo, Tirado, 2009). El cáncer colorrectal es un término que se emplea para el cáncer que se origina en el colon o el recto. A estos tipos de cáncer se les puede llamar por separado cáncer de colon o cáncer de recto (rectal) dependiendo del lugar donde se origina (American Cancer Society, 2014).

Como se mencionó, la dieta desempeña un importante papel en la etiología y la prevención del cáncer. Numerosos estudios sugieren que un incremento en el consumo de fibra dietética puede disminuir el riesgo de cáncer. El primero en proponer esta hipótesis de la fibra fue

Burkitt, en 1971, al observar la baja incidencia de cáncer de intestino grueso existente en la mayoría de las poblaciones africanas, cuya dieta se caracterizaba por una ingesta elevada de fibra dietética, junto con una baja proporción de azúcares refinados. Desde entonces, han sido numerosos los autores que han investigado en profundidad la asociación entre la fibra y la aparición del cáncer colorrectal. Así, los primeros estudios epidemiológicos, publicados entre 1990 y 1994 y analizados mediante meta-análisis, apuntaban a que el riesgo de aparición de cáncer colorrectal disminuía a medida que aumentaba el consumo de fibra dietética (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010).

Si bien, aunque no existe mucha información en la literatura que vincule a la fibra dietética a varios tipos de cáncer, algunos estudios recientes muestran consistentemente que las dietas ricas en fibra se asocian con la disminución de la prevalencia de cáncer, particularmente el cáncer de colon y el de mama. Sin embargo, los estudios cohortes, las pruebas controladas aleatorizadas (RCTs) y los estudios de control del caso han dado conclusiones inconsistentes (Kendall *et al.*, 2010). Estas pueden en parte explicarse por problemas inherente en el diseño de los estudios. Por ejemplo, los estudios de casos y controles son propensos al sesgo de selección, la falta de ajuste por covariables en los modelos multivariados, lo cual podría explicar algunas de las inconsistencias. También puede haber errores en la determinación la ingesta de fibra real, debido a los cuestionarios de frecuencia alimentaria que se utilizan a menudo para recopilar datos dietéticos en los estudios de cohortes. Otro factor de error potencial es el intervalo informado de la dieta la ingesta de fibra, un intervalo estrecho entre el más alto y el más bajo consumo de niveles, aumenta la probabilidad de encontrar estadísticamente significativa las diferencias entre los dos grupos. Los estudios de Park *et al.*, 2005 y Bingham *et al.*, 2003, demostraron que otro de los factores que intervienen en los resultados son la edad y la dependencia genética del cáncer, además de la etnia y la etapa de la vida, los cuales juegan un papel importante.

Según el Instituto de Medicina de los Estados Unidos, y más recientemente también según el Consejo de Salud de Holanda, la evidencia completa que permita concluir sobre el efecto de la ingesta total de fibra dietética sobre el riesgo de cáncer colorrectal no es suficiente para que sirva de base para las guías de ingesta de fibra dietética. El Consejo de Salud también

comentó que si la fibra dietética desempeña un papel, es más probable que sea la fibra de las frutas más que todo el espectro completo de la fibra dietética (Gray, 2006).

Pero a pesar de los datos a veces contradictorios obtenidos en los estudios, existe un consenso entre los especialistas de que existe evidencia para sugerir que la incorporación en la dieta de cantidades de fibra, sobre todo procedentes de frutas y cereales, reduce el riesgo de aparición de cáncer colorrectal.

Se han propuesto varios mecanismos potenciales por los que la fibra dietética podría ejercer su efecto protector en el cáncer (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010).

1. La fibra aumenta el volumen del contenido intestinal y disminuye el tiempo de tránsito intestinal. De esta forma, se diluyen los carcinógenos potenciales que pueden estar presentes en el contenido del colon, al tiempo que se reduce la posibilidad de contacto con la células de la mucosa intestinal.
2. La fibra tiene la capacidad de fijar carcinógenos potenciales, como las sales biliares. Las sales biliares fijadas no se degradan en el colon, lo que impide su conversión por las enzimas bacterianas en ácidos biliares secundarios, algunos de los cuales son considerados procarcinógenos. A este efecto, hay que añadir la capacidad de la fibra de disminuir el pH fecal, lo que inhibe la actividad de las enzimas bacterianas involucradas en metabolismo de los ácidos biliares.
3. La generación de ácidos grasos de cadena corta en el lumen intestinal, en especial el butirato. Estudios experimentales *in vitro* han demostrado la capacidad del butirato de inhibir la proliferación de células tumorales colónicas, inducir su diferenciación y promover la apoptosis

Por otro lado, los datos sobre la relación entre fibra dietética y la aparición de otros tipos de cáncer son también inconsistentes. A pesar de que muchos estudios de casos y controles han demostrado un reducido riesgo de cáncer mamario entre las mujeres posmenopáusicas que han consumido dietas más altas en fibra, la mayoría de los estudios prospectivos no han confirmado esta asociación. Sin embargo, hay cierta evidencia de que la ingesta de granos integrales protege contra el cáncer mamario y que el riesgo de cáncer al estómago se correlaciona inversamente con el consumo de granos integrales. Los mensajes saludables

que señalan que las dietas ricas en granos integrales (y frutas y verduras) reducen el riesgo de algunos cánceres están aprobados en los Estados Unidos, para propósitos de etiquetado nutricional, (Gray, 2006)

En el año 2010, el World Cancer Research Fund indicó que había datos limitados y que no había ninguna conclusión respecto a la relación entre la ingesta de fibra y el riesgo de cáncer de mama, ya que se necesitan datos de alta calidad. Sin embargo, un amplio meta-análisis publicado en 2008, reportó una reducción significativa en el riesgo de cáncer de mama dependiente de la dosis y que tanto la fibra total como el consumo de fibra vegetal se asociaron significativamente con un menor riesgo de cáncer positivo en los receptores de estrógeno y progesterona (Dahl y Stewart, 2015).

Los mecanismos propuestos para el efecto protector de la fibra en la dieta incluyen: el secuestro de los estrógenos en el aparato digestivo y la reducción de la actividad de la  $\beta$ -glucuronidasa en el aparato digestivo, lo que resulta en un aumento de la excreción de estrógenos en las heces (Aune *et al*, 2012).

Como ha señalado el World Cancer Research Fund, son necesarios estudios con un buen diseño experimental para determinar si el riesgo de cáncer de mama se ve modificado por la ingesta de fibra dietética.

## **II. 4 Obesidad y mantenimiento de peso**

En la actualidad, México y Estados Unidos ocupan los primeros lugares de prevalencia mundial de obesidad en la población adulta (30 %), la cual es diez veces mayor que la de países como Japón y Corea (4 %). En nuestro país, las tendencias de sobrepeso y obesidad en las diferentes encuestas nacionales muestran un incremento constante. De 1980 a la fecha, la prevalencia de obesidad y sobrepeso en México se ha triplicado, alcanzando proporciones alarmantes (Barrera *et al*, 2013). En cuanto a Estados Unidos, aproximadamente el 66 % de los adultos estadounidenses tienen sobrepeso o son obesos.

Aunque hay varios factores que podrían contribuir a la obesidad, la causa principal es debido al balance energético positivo (absorción > gasto). Los científicos han llevado un paso más allá y ha estudiado el efecto de otros aspectos dietéticos que pueden servir en la regulación del peso, incluida la fibra dietética. Aumentar el consumo de fibra dietética puede disminuir la absorción de energía por medio de la dilución de la disponibilidad de energía de una dieta, manteniendo otros nutrimentos importantes (Lattimer y Haub, 2010).

La investigación actual muestra una relación inversa entre el peso corporal y la composición (% de grasa corporal) y la ingesta de fibra dietética. Por ejemplo, algunos estudios realizados encontraron que los adultos con sobrepeso u obesidad consumen menos fibra que sus contrapartes, que muestran una asociación negativa entre el consumo de fibra dietética, el índice de masa corporal, el porcentaje de grasa corporal y peso corporal, sin embargo, aunque se han propuesto muchos mecanismos, la mayoría de las investigaciones sobre el apetito, la ingesta de energía a corto y largo plazo y el peso corporal se ha realizado utilizando fibras aisladas (Dahl y Stewart, 2015).

Entre los mecanismos propuestos se han considerado las propiedades de aumento de volumen y viscosidad de la fibra dietética soluble, el retardo del vaciamiento gástrico y la reducción de la tasa de intestinal de digestión y absorción, promoviendo así la saciedad a través de la liberación de numerosas hormonas gástricas, como el péptido inhibidor gástrico, el GLP- 1, colecistoquinina y el péptido YY, además que los alimentos ricos en fibra también requieren mayor masticación, lo cual a través de un aumento en las señales de saciedad añade una disminución de la tasa de ingestión.

Una serie de los mecanismos sostiene que la fibra dietética puede reducir el peso corporal y promover el mantenimiento del peso mediante (Sweat y Manore, 2014):

1. Generación de una mayor sensación de saciedad. Una dieta alta en fibra mejora la saciedad (sentimientos de satisfacción y plenitud que hacen dejar de comer) a través de una variedad de maneras:
  - Por medio de la reducción de la densidad de energía de la dieta (alimentos con bajo contenido energético).
  - Al proporcionar un mayor volumen de alimentos sin contribuir con energía adicional (alimentos ricos en fibra añaden volumen a la comida y aumentan la sensación de plenitud).
  - A través del desplazamiento o la sustitución de alimentos densamente energéticos (barra de chocolate) por un alimento con menor densidad energética (manzana) como aperitivo.
  - Por efecto de la expansión de la fibra en el estómago y el intestino, lo que genera señales nerviosas al cerebro para producir saciedad.



- Por efecto de una mayor liberación de señales de saciedad desde el intestino al cerebro.
- A través de un aumento en el tiempo de masticación (comer una manzana vs beber jugo de manzana).
- Al retrasar el vaciamiento gástrico y prolongar el tiempo de digestión causado por la viscosidad de la fibra.
- Por medio de la fermentación de fibras específicas, como la pectina y almidones resistentes por las bacterias intestinales a ácidos grasos de cadena corta (butirato, acetato y propionato), ya que, se ha demostrado que estos activan a las hormonas de la saciedad del intestino, lo que podría reducir la ingesta de alimentos en general.

## 2. Alteración de la oxidación y almacenamiento de grasa

La fibra también puede alterar la forma en que el cuerpo se oxida y utiliza la grasa. Como resultado de retrasar el vaciamiento gástrico, la secreción de insulina en respuesta a los hidratos de carbono contenidos en los alimentos se reduce y mantiene la glucosa en sangre dentro de las concentraciones normales. Este efecto reduce el potencial de los picos y valles de glucosa y la necesidad de que el hígado elimine la glucosa de la sangre para la síntesis de grasa o para liberar glucosa para mantener las concentraciones sanguíneas.

Las altas concentraciones de insulina también inhiben a la lipasa de lipoproteínas, la enzima responsable de la descomposición de los triglicéridos almacenados. Por lo tanto, la reducción de la glucosa en sangre y la concentración de insulina podrían reducir potencialmente el almacenamiento de grasa y favorecer la oxidación de los ácidos grasos.

## 3. Impacto de la fibra sobre las bacterias intestinales beneficiosas.

Algunas investigaciones recientes sugieren que la microbiota intestinal puede estar involucrada en la regulación del balance energético. Estudios preliminares en ratones muestran que ratones magros tienen bacterias intestinales distintas a las de los ratones obesos, lo que sugiere que la población de bacterias pueden influir en la eficiencia absorción, uso y almacenamiento de energía. Los ratones obesos mostraron niveles más altos de bacterias Firmicutes en comparación con los ratones delgados, que presentaron niveles más altos de bacterias Bacteroidetes. Por otra parte, cuando los ratones obesos recibieron suplementación con diferentes niveles de prebióticos, sus poblaciones microbianas fueron

alteradas de tal manera que los niveles de Bacteroidetes aumentaron. Ley *et al* (2006) mostraron que los individuos obesos tenían una mayor cantidad de bacterias intestinales (Firmicutes) y menos de otros tipos de bacterias (Bacteroidetes) en comparación con los controles magros; sin embargo, después de que los individuos obesos participaron en un programa de pérdida de peso inducida por la dieta de 1 año, estas diferencias desaparecieron. También se correlacionaron mayores aumentos en Bacteroidetes con mayores pérdidas en el peso corporal. Tomados en conjunto estos estudios sugieren que la ingesta de fibra, podría alterar favorablemente a las bacterias del intestino de una manera que mejora el balance de energía.

Otro mecanismo propuesto, establece que:

1. La fibra tiene una elevada capacidad para retener agua y bajo aporte energético, con lo que contribuye a disminuir la densidad energética de la dieta.
2. Los alimentos ricos en fibra requieren más masticación y por lo tanto mayor tiempo para su ingestión. Esta mayor masticación, a la vez, estimula la secreción de saliva y jugo gástrico, que favorece la sensación de saciedad.
3. Se reduce la velocidad del vaciamiento gástrico y como consecuencia, disminuye el hambre y se prolonga la sensación de saciedad.
4. La fibra disminuye la absorción de ácidos grasos e hidratos de carbono en el intestino delgado, reduciendo el aporte energético.
5. La fibra aumenta el volumen fecal y corrige el estreñimiento.
6. Distintos estudios han puesto de manifiesto que la fibra también afecta la secreción de hormonas y péptidos intestinales, como la colecistoquinina (CCK) y el péptido relacionado con el glucagón 1 (GLP-1), que han demostrado actuar como mediadores con actividad saciante y anorexígena (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010).

La investigación de los efectos de diferentes tipos de fibra dietética sobre el apetito, la energía y la ingesta alimentaria no ha mostrado resultados consistentes. Numerosos estudios han encontrado la misma relación inversa entre la fibra dietética y el aumento de peso, Sin embargo, los datos son más inconsistentes al comparar las fibras solubles e insolubles. Los resultados difieren de acuerdo al tipo de fibra dietética y de acuerdo a si se adiciona como suplemento de fibra dietética aislada o presente en forma natural en las fuentes alimentarias,

así, que aunque el aumento de fibra en la dieta, en general, tiene un efecto favorable sobre el peso corporal. Falta más investigación que justifique qué tipo de fibras dietéticas son óptimas para controlar el peso y prevenir el sobrepeso y obesidad.

## **II. 5 Diabetes mellitus tipo 2**

La diabetes tipo 2 se está convirtiendo rápidamente en la epidemia del siglo XXI y en un reto de salud global. Estimaciones de la Organización Mundial de la Salud indican que a nivel mundial, de 1995 a la fecha casi se ha triplicado el número de personas que viven con diabetes, siendo la cifra actual estimada en más de 347 millones de personas con diabetes. De acuerdo con la Federación Internacional de Diabetes, China, India, Estados Unidos, Brasil, Rusia y México, son en ese orden los países con mayor número de diabéticos.

La diabetes es una enfermedad crónica de causas múltiples. En su etapa inicial no produce síntomas y cuando se detecta tardíamente y no se trata de manera adecuada ocasiona complicaciones de salud graves como infarto del corazón, ceguera, falla renal, amputación de las extremidades inferiores y muerte prematura (Hernández *et al.*, 2013). Aunque existe evidencia de que el aumento en el consumo de fibra dietética puede reducir el riesgo de diabetes tipo 2, es necesario seguir trabajando para determinar el papel de la fibra dietética en la prevención de la prediabetes (Dahl y Stewart, 2015).

Las estrategias de prevención implementadas a escala poblacional en países con elevado riesgo se basan en la modificación de los factores de riesgo como la obesidad, la falta de actividad física, el tabaquismo y los factores dietéticos, los cuales juegan un papel importante para reducir la aparición de la diabetes y retrasar el progreso de la misma.

Algunos estudios de cohortes han mostrado una asociación inversa entre la ingesta total de fibra dietética y el riesgo de diabetes mellitus tipo 2, mientras que en otros estudios no se ha encontrado esta relación. El Instituto de Medicina de los Estados Unidos y más recientemente el Consejo de Salud de Holanda, han revisado estos hallazgos, al igual que los estudios sobre los factores de riesgo para la diabetes y concluyeron que la fibra dietética total posiblemente disminuye el riesgo de diabetes tipo 2 (Gray, 2006). Sin embargo, es más fuerte la evidencia para la fibra proveniente de cereales, además de que otra serie de estudios han indicado un efecto protector de la fibra de granos enteros (Buttriss y Stokes, 2008). Es importante mencionar que la evidencia sugiere que los efectos beneficiosos de

alimentos ricos en fibra pueden lograrse mejor en el contexto de una dieta compuesta por alimentos con índice glucémico bajo (Kendall *et al.*, 2010). El control glucémico es de crucial importancia en la gestión de diabetes tipo 2.

Según la Asociación Americana de la Diabetes (ADA) las estrategias dietéticas que reducen la hiperglucemia pueden ser importantes para la limitar la aparición de complicaciones de la diabetes tipo 2 y que el objetivo primario en su manejo debe ser la regulación de los niveles de la glucosa en la sangre. (Sheard *et al.*, 2004). Además de estas recomendaciones, numerosas agencias de todo el mundo, entre ellos The British Diabetes Association (BDA), The Canadian Diabetes Association (CDA), The European Association for the Study of Diabetes (EASD), India, Japón y Sudáfrica, han hecho recomendaciones nutricionales que incluyen el aumento de la ingesta de fibra dietética en las personas con diabetes tipo 2. Muchas de estas agencias también han recomendado la ingesta de dietas con bajo IG. En general, la mayoría de los alimentos con medio y bajo índice glucémico son aquellos que se utilizan como fuentes de fibra como el salvado, la avena y las legumbres (Kendall *et al.*, 2010).

Aunque todavía no están del todo claro cuáles son los mecanismos intrínsecos por los que la fibra dietética es capaz de mejorar la homeostasis de la glucosa en los individuos diabéticos, se sabe que esta propiedad tiene un origen multifactorial. Al parecer, la fracción soluble es la más eficaz en el control de la glucemia, proponiéndose como posibles mecanismos los siguientes:

- Retraso del vaciamiento gástrico, que daría una sensación de plenitud, disminuyendo la ingesta de alimentos.
- Interacción de los hidratos de carbono con la matriz de la fibra, lo que da lugar a una reducción en la accesibilidad de las enzimas intestinales para hidrolizar los azúcares, así como una menor difusión de la glucosa liberada. Todo ello conduce a una disminución de la absorción de la glucosa.
- Incremento de la liberación de la insulina y disminución de la resistencia a esta hormona. Este factor parece desempeñar un papel muy importante en el control de la diabetes, habiéndose demostrado en numerosos trabajos la disminución que la fibra produce en la insulino-resistencia que se manifiesta en el diabético tipo 2.

Algunos de estos efectos se deben a la capacidad de la fibra de estimular la liberación de varias hormonas gastrointestinales, como la CCK y el GLP-1. Estas hormonas han demostrado retardar el vaciamiento gástrico, incrementar la liberación de insulina e inhibir la secreción de glucagón por parte del páncreas.

Por otra parte, la fibra también promueve la captación de glucosa por los tejidos periféricos y reduce la aportación hepática de glucosa, efectos que mejorarían la resistencia a la insulina. También se ha propuesto que la fibra mejoraría la resistencia a la insulina debido a la formación de los ácidos grasos de cadena corta, especialmente el butirato, que se produce tras su fermentación. Se ha demostrado, en diversos ensayos *in vitro* e *in vivo*, que el butirato reduce la producción del TNF- $\alpha$  y que esta citoquina favorece la aparición de la resistencia a la insulina en el adipocito. Por tanto el aporte de fibra incrementaría la formación de butirato y éste inhibiría la producción de TNF- $\alpha$ , disminuyendo la resistencia a la insulina. Por último, se debe destacar que el efecto beneficioso de algunos alimentos ricos en fibra, como los cereales integrales, puede deberse a su actuación sinérgica con otros componentes presentes en dichos alimentos, como vitaminas o nutrimentos inorgánicos (Zarzuelo, Zurita y Gálvez, Peralta, 2010).

## II. 6 Estudios que relacionan el consumo de fibra con la incidencia de enfermedades

En la tabla 5 se muestran algunos ejemplos de estudios que relacionan el consumo de fibra con la incidencia de enfermedades.

| Tabla 5. Estudios que relacionan el consumo de fibra con la incidencia de algunas enfermedades                                      |  |
|---|--|
| Referencia  | Conclusiones   |
| <b>Dietary fiber and breast cancer risk: a systematic review and meta-analysis of prospective studies (Aune <i>et al</i>, 2012)</b> | Los resultados sugieren que las dietas ricas en fibra están asociadas con un menor riesgo de cáncer de mama. En los meta –análisis realizados, la asociación parecía ser más pronunciada en los estudios con niveles altos de fibra por día ( $\geq 25$ g/día vs $< 25$ g / día) o por periodos largos de tiempo ( $\geq 13$ vs $< 13$ g día) de la ingesta de fibra. Se encontró que la asociación entre la ingesta de fibra y el cáncer se presenta entre la fibra soluble pero no de fibra insoluble. |
| <b>Health benefits of</b>   | Los individuos con un consumo alto de fibra mostraron tener un   |

|  |   |
|--|---|
| <p><b>dietary fiber.</b><br/><b>(Anderson et al, 2009)</b></p>   | <p>riesgo menor en enfermedades cardiovasculares, derrames cerebrales, hipertensión, diabetes, obesidad y ciertas enfermedades gastrointestinales. Se sugiere un consumo de fibra dietética aceptable para niños mayores de 1 año de 14 g/1000 kcal, en mujeres adultas de 28 g/día y para hombres adultos de 36 g/día</p>  |
| <p><b>Dietary Fiber Consumption Decreases the Risks of Overweight and Hypercholesterolemia in Japanese Children</b><br/><b>(Shinozaki et al, 2015)</b></p>                         | <p>El alto consumo de fibra se asocia con un menor índice de masa corporal en niños japoneses sanos de entre 10 a 11 años. La ingesta total de fibra dietética se asoció inversamente con los niveles de colesterol total en ambos sexos, se tuvieron efectos favorables sobre el sobrepeso y la hipercolesterolemia.</p>   |
| <p><b>Total, insoluble and soluble dietary fibre intake in relation to blood pressure: the INTERMAP Study</b><br/><b>(Aljuraiban et al, 2015)</b></p>                              | <p>Basado en una población de americanos. Concluye que una mayor ingesta de fibra dietética total se asocia con una menor presión arterial. Los resultados mostraron menores riesgos significativos de la hipertensión para la ingesta de fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa, lignina y algunos almidones resistentes) pero no en el consumo de fibra soluble (pectinas, gomas, mucílagos y algunas hemicelulosas).</p> <p>Las limitaciones metodológicas incluyen la validez de métodos de evaluación de la dieta, el estilo de vida y la dieta real, ya que, el consumo de fibra de los individuos fue estimado.</p>   |
| <p><b>Canadian Diabetes Association National Nutrition Committee Clinical Update on Dietary Fibre in Diabetes: Food Sources to Physiological Effects</b><br/><b>(Li, 2010)</b></p> | <p>Se demostró que la fibra soluble de legumbres como garbanzos, frijoles, chicharos y entejas, manzanas, mandarinas y peras, solos o como parte de dieta de un baja en índice glucémico redujo significativamente la concentración media diaria de glucosa en sangre y el número de episodios de hipoglucemia en comparación con 3 meses de suplementación con salvado de trigo, en donde no se observó cambio en la glucemia.</p> <p>Se encontró una asociación inversa significativa entre el aumento de peso y la ingesta de fibra de la fruta, pero no a partir de vegetales. Una revisión sistemática de los estudios a corto plazo sugiere que las fibras viscosas pueden tener un papel más importante en la promoción de la saciedad y controlar el peso en la diabetes tipo 2 que las fibras no viscosas.</p> |

## Capítulo III. Industria de alimentos

---

Los componentes de fibra dietética, aislados de sus plantas nativas, proporcionan muchas propiedades funcionales que afectan a la función tecnológica de los alimentos. La fibra dietética se usa en la industria alimentaria como ingrediente, enriqueciendo al producto con una sustancia que pudo haberse perdido en etapas previas del procesamiento de una materia prima y/o como aditivo. Los tecnólogos en alimentos han buscado desarrollar fórmulas para añadir este aditivo o ingrediente en la mayor cantidad de alimentos y generalmente se conocen dos tipos de productos con fibra dietética adicionada (Betancur, Ancona *et al*, 2003):

1. Productos enriquecidos con fibra: algunos productos derivados de la fabricación o elaboración de alimentos de origen vegetal (cereales, frutas, verduras, así como algas) son fuentes abundantes de fibra dietética, estos subproductos ricos en fibra son utilizados para fortificar alimentos y aumentan su contenido de fibra dietética y obtener productos saludables con bajo contenido calórico, colesterol y grasa.
2. Productos en los cuales se adiciona la fibra por sus propiedades funcionales : La fibra puede servir para mejorar propiedades físicas y estructurales; por ejemplo, para aumentar la capacidad de retención de agua, por su capacidad de retención de aceite y/o formación de gel, además que incorporada en los productos alimenticios (productos de panadería, productos lácteos, mermeladas, carnes, sopas) pueden modificar las propiedades de textura, evitar sinéresis (la separación de líquido de un gel causada por contracción), estabilizar la comida rica en grasas y emulsiones, y aumentar la vida de anaquel (Mohamed *et al*, 2011).

Las propiedades fisicoquímicas o funcionales de la fibra dietética se pueden agrupar y dependiendo de ellas serán las características físicas y tecnológicas que puedan impartir (López *et al*, 1997):

1. Propiedad de hidratación (solubilidad, capacidad de retención de agua, viscosidad y gelificación).
2. Características de superficie (tamaño de partícula y capacidad de retención de grasa).

### **III. 1 Propiedades de hidratación.**

#### ***III.1.1 Capacidad de retención***

El agua es un factor determinante de la fisiología de la pared celular y por tanto de la fibra. Los componentes de la fibra interactúan con el agua de manera diferente, dictaminado cómo se utilizará y cómo funcionará en un sistema alimentario. Esta interacción es generalmente descrita como la absorción, hidratación, unión, o retención de agua, siendo las más comunes: capacidad de enlazar agua (WBC, Water Binding Water) y la capacidad de retención de agua (WHC, Water Holding Capacity). Aunque estos términos se usan indistintamente, basan su diferencia en la capacidad de la fibra para retener el agua bajo presión (Guo, 2009).

La WBC se refiere a la cantidad de agua que el sistema de gel retiene dentro de su estructura sin presión o tensión, mientras que la WHC se refiere a la cantidad de agua que el sistema conserva en su matriz después de que se haya sometido a estrés, como centrifugación, filtración o aspiración osmótica, es decir, 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 (Matos, Chamorro y Cambilla, Mamani, 2010).

La WHC es probable que sea la aplicación más práctica en la industria, ya que la fabricación o procesamiento de alimentos suele utilizar alguna forma de estrés físico (extrusión, mezclado o amasado, homogeneización, etc).

La fuente de la fibra no influye directamente en la WHC, pero determina las propiedades fisicoquímicas de sus componentes, como la longitud de la fibra, el tamaño de partícula y la porosidad. Estas propiedades, a su vez influyen en el WHC y su uso y las condiciones de uso en el desarrollo de alimentos. Sin embargo, otros factores en el sistema alimentario que influyen son el pH, la fuerza iónica, la concentración de los componentes de fibra, y la interacción con otros fijadores de agua como azúcares (monosacáridos o disacáridos) y almidones. En contraste, las interacciones del agua con las fibras solubles son influenciados en gran medida por el pH y la fuerza iónica (Guo, 2009).

Esta capacidad de retención de agua es mucho mayor en las fibras solubles, como la pectina y las gomas, que en las insolubles, como la celulosa. Las fibras vegetales tienen valores intermedios (Matos, Chamorro y Cambilla, Mamani, 2010).



De esta propiedad depende el efecto fisiológico de la fibra y el nivel máximo de incorporación a un alimento (Zambrano *et al*, 2001). La retención de agua afecta la viscosidad de los productos facilitando o dificultando su procesamiento. Esta propiedad confiere un efecto de frescura y suavidad en productos horneados (Cruz, 2002).

### **III.1.2 Solubilidad**

La solubilidad de la fibra como una propiedad tecnológica se refiere a su solubilidad en agua. Las fibras dietéticas se clasifican como solubles o insolubles, basados en si forman una solución cuando se mezcla con agua (soluble), o no (insoluble). Las fibras dietéticas solubles incluyen sustancias pécticas, gomas, mucílagos y algunas hemicelulosas, mientras que la celulosa, otros tipos de hemicelulosas y la lignina se incluyen en la insoluble (Mohamed *et al*, 2011). Entre los factores que influyen en la solubilidad se encuentra la estructura química y la carga de los componentes de la fibra; una estructura lineal, altamente ordenada, aumenta la fuerza de los enlaces covalentes y estabiliza la conformación. En cambio a medida que las cadenas son más ramificadas, la estructura se disocia más fácilmente y en consecuencia, el polisacárido se hace más soluble. También se favorece la solubilización a medida que se incrementa la temperatura. La presencia de grupos ionizantes también tienden a aumentar la solubilidad (pectina), la presencia de un grupos sustituyentes tal como COOH o SO<sub>4</sub> aumenta la solubilidad (pectina metoxilada), los tipos de enlace ( $\beta$ -glucanos con uniones mixtas de  $\beta$  - 1-3 y 1-4) también aumentan solubilidad; y las alteraciones de las unidades de monosacárido o su forma molecular ( $\alpha$ - o  $\beta$  -) (goma de acacia, arabinogalactano y goma de xantana) (Guo, 2009).

### **III.1.3 Viscosidad**

La viscosidad es otra propiedad tecnológica de la fibra que ofrece cambios reológicos en los sistemas alimentarios. En general, la viscosidad de la fibra en solución aumenta con el peso molecular o longitud de cadena. Sin embargo, la concentración de la fibra en la solución, la temperatura, el pH, las condiciones de procesamiento y la fuerza iónica depende sustancialmente de la fibra utilizada.

Los polímeros de cadena larga, tales como las gomas (goma de guar, goma de algarrobo, goma de tragacanto etc.), se unen significativamente al agua y muestran una alta viscosidad de la solución. Estos se utilizan como agentes espesantes en los alimentos a bajas concentraciones.

En general, las fibras altamente solubles, altamente ramificadas o polímeros de cadena relativamente corta, tales como la goma árabiga, aislado de arabinogalactanos, inulinas, y oligosacáridos tienen viscosidades bajas. Estas fibras de baja viscosidad se utilizan generalmente para modificar la textura o la reología, gestionar la migración de agua, influir en las propiedades coligativas del sistema alimentario, y mejorar las posibilidades de comercialización del producto alimenticio como un producto alimenticio que promueva la salud o como alimento funcional. Estas fuentes de fibras se pueden utilizar en productos alimenticios en niveles relativamente altos, ya que normalmente mejoran características del producto alimenticio, como el sabor, la sensación en la boca, y la vida de anaquel, sin alterar significativamente las características específicas de la aplicación (Guo, 2009).

### ***III.1.4 Gelificación***

La gelificación es un atributo importante de algunos ingredientes de la fibra como un medio para añadir forma o estructura para diversos productos alimenticios.

La gelificación representa la asociación de unidades de polímero para formar una red. El gel formado por este proceso encapsula agua y otros componentes en solución para formar una estructura firme de 3 dimensiones.

La formación del gel depende del tipo de goma, su concentración, la temperatura, la presencia de iones como el calcio, el pH, y la presencia de otros modificadores de la reología en el sistema alimentario. Las gomas, incluyendo goma guar, goma árabiga, karaya,  $\lambda$ -carragenina y goma de tragacanto se utilizan típicamente como modificadores de la reología o estabilizantes en sistemas alimentarios.

Los polímeros, tales como almidón y la inulina, se utilizan típicamente en concentraciones mucho más altas que las gomas, los cuales juntos se utilizan en los sistemas alimentarios para influir en la reología del sistema y textura general (Guo, 2009).

## **III.2 Características de superficie**

### ***III.2.1 Tamaño de partícula***

La estructura de la fibra en un alimento cambia durante los procesos de elaboración, preparación, masticación y digestión; como resultado de estos procesos se produce una considerable reducción del tamaño de partícula. Además, el tamaño de partícula también

afecta otras características de la fibra, especialmente todas aquellas que tienen una relación directa con la superficie expuesta, fundamentalmente la capacidad de retención de agua. 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, mientras que las de mayor tamaño se aplican en hojuelas de maíz y en productos donde su textura lo permita (Cruz, 2002). Se ha señalado que el tamaño ideal de partículas de fibra para consumo humano se ubica en un intervalo de 50 a 500  $\mu\text{m}$ ; tamaños mayores pueden afectar la apariencia del producto e impartir una sensación fibrosa dificultando la masticación y deglución, mientras que 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, 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 (Sánchez, 2005)

### **III.2.2 Capacidad de retención de aceite**

Junto a sus propiedades de hidratación, las fibras poseen la capacidad para contener el aceite. La capacidad de retención de aceite (Oil Holding Capacity, OHC) se define como 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 (Zúñiga, 2005).

Esta característica está relacionada con la naturaleza de la superficie y con la densidad de las partículas, por lo que partículas con mayor superficie, presentan teóricamente una mayor capacidad de retención de sustancias oleosas, pero es más parte una función de la porosidad de la estructura de fibra en vez de la afinidad de la molécula de fibra por las grasas, pero también puede estar relacionado con la naturaleza lipofílica de los constituyentes (Heredia, Moreno *et al*, 2003).

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). 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). Mediante la hidratación de una fibra con agua, el agua ocupa los poros de la fibra, reduciendo significativamente la absorción de las grasas. Esta técnica se utiliza con éxito en mezclas y revestimientos para reducir la absorción de aceite durante la fritura, y reduce el contenido de grasa total del producto alimenticio final, mejorando el carácter crujiente (Guo, 2009).

### **III.3 Aplicaciones**

La industria alimentaria puede tomar ventaja de las propiedades fisicoquímicas descritas anteriormente para mejorar la viscosidad, textura, características sensoriales y la vida útil de sus productos.

Los subproductos ricos en fibra pueden ser incorporados en productos alimenticios para la obtención de productos de bajo costo, o como agentes de carga no energéticos para la sustitución parcial de harinas, grasas o azúcar, para retener agua y/o aceite, para mejorar emulsiones, entre otros. Sin embargo, el porcentaje de fibra que se puede añadir es finito, ya que puede causar cambios indeseables en el color y la textura de los alimentos.

La literatura contiene muchos informes acerca de las novedades de la fibra para productos alimenticios tales como productos horneados, bebidas, productos de confitería, productos lácteos, productos lácteos congelados, carnes, pastas y sopas.

Uno de los principales usos de la fibra es la elaboración de cereales para desayuno.

La adición de la fibra dietética en panes y productos de panadería se realiza por varias razones, entre ellas la fortificación con la misma, la reducción energética y su capacidad para retener el agua que resulta de gran interés para prolongar la frescura, reduciendo de este modo pérdidas económicas, además que pueden modificar el volumen del pan, su elasticidad, la suavidad de la miga y la firmeza (Sangnark y Noomhorm, 2004). Como regla general, la incorporación de fibras en el pan reduce el volumen y aumenta la firmeza, pero el grado de modificación depende de la fuente de fibra. Adicionalmente, las mejoras de color y sabor en pasteles y en galletas pueden obtenerse con la incorporación de la fibra dietética derivada de frutas.

También en el campo de los productos de pasta hay un marcado crecimiento en el uso de la fibra. Debido a su popularidad entre jóvenes y adultos, los productos de pasta resultan de

gran interés para ser enriquecidos con fibras para mejorar su ingesta (Betancur, Ancona *et al*, 2003).

En el campo de la industria láctea uno de los principales problemas tecnológicos en los productos tales como el yogurt, el queso madurado, los postres de leche y los aderezos, es la prevención de la separación de fases o sinéresis y en este caso se han empleado fibras para evitar dicha separación (Betancur, Ancona *et al*, 2003). Por ejemplo, la inulina introduce numerosas mejoras en los productos lácteos, mejora cuerpo y la sensación en la boca de sucedáneos de queso o helados, y reduce la sinéresis en el yogur y otros productos lácteos fermentados (Blecker *et al.*, 2001). En el helado, la fibra mejora la textura, proporcionando una mayor suavidad y uniformidad como la resistencia deseable de fusión, y mejora las propiedades de manipulación principalmente al obstaculizar el crecimiento de los cristales, debido a la fluctuación de la temperatura durante el almacenamiento (Regand y Goff, 2003). Otras aplicaciones incluyen el uso en productos derivados de frutas como mermeladas, para impartir viscosidad, es decir, cuanto mayor es el contenido de fibra dietética, mayor será la viscosidad de la mermelada. La evidencia encontrada a través de evaluaciones sensoriales indica que las mermeladas enriquecidas con fibra dietética son tan aceptables como las mermeladas convencionales (Grigelmo, Miguel y Martin, Belloso, 1999b).

Las fibras también se pueden introducir en productos de carne, para reducir el contenido energético por sustitución de grasa, así como para mejorar la textura y estabilidad de los productos cárnicos. Se pueden añadir para reemplazar la grasa en la carne de hamburguesa, reduciendo los niveles de colesterol y mejorar su rendimiento en la cocción, el diámetro y la textura. García *et al.* (2002) demostraron que la adición fibra proveniente de cereales o fruta, específicamente fibra de naranja al 1,5%, para secar embutidos fermentados daba una característica sensorial similar a la convencional de un producto de alto contenido de grasa.

La fibra de los cítricos posee compuestos bioactivos asociados, como los polifenoles que añadidos a los productos cárnicos (salchichas, hamburguesas de pollo), son inhibidores eficaces de la oxidación de lípido, mejorando así su estabilidad a la oxidación y la prolongación de su vida útil. En productos como la mortadela también puede disminuir los niveles de nitritos residuales (Fernández, Ginés *et al*, 2003)

Asimismo las fibras pueden ser introducidas en los productos de pescado. La adición de fibras solubles, tales como los carragenanos, la goma guar y xantano, a los productos de

pescado, mejora su funcionalidad, la retención de agua, la gelificación, la capacidad de emulsión, especialmente en aquellos productos donde la materia prima utilizada es de mala calidad y que puede causar una gran pérdida de rigidez y elasticidad en los geles de la proteína muscular (Borderías *et al*, 2005). La fibra rica en antioxidantes como el orujo de uva, añadido al pescado picado, lo protege contra la oxidación de lípidos, por lo que es posible prolongar la vida útil y mejorar el sabor (Sánchez, Alonso *et al*, 2007)

El principal uso de las pectinas como aditivos alimentarios es como gelificante y espesante y en algunos casos como coadyuvante para estabilizar emulsiones. La mayoría de las pectinas para uso alimentario se extraen de los cítricos o de la manzana. Los grupos metílicos esterificados en el grupo carboxilo de la cadena principal determinan el tiempo y velocidad relativa de gelificación y la fuerza del gel. 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).

Las gomas tienen la propiedad básica de espesar o aumentar la viscosidad y también pueden actuar como agentes gelificantes. 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 sinéresis, la formación de películas, e imitar o simular las propiedades de la grasa. Su uso a niveles altos (>10%) tiende a ser limitado con algunas excepciones (Matos, Chamorro y Cambilla, Mamani, 2010).

La lactulosa se utiliza en la manufactura del yogur, ayudando a mejorar muchas de las propiedades del mismo. Así, el yogur, parece tener en este caso las mismas propiedades que un laxante suave, mejorando el tránsito gastrointestinal y aumentando la producción fecal en voluntarios sanos (Porkka *et al*, 1988). Además, su eficacia en el tratamiento del estreñimiento infantil es comparable al de un yogur conteniendo una mezcla de fibra dietética. La adición de lactulosa reduce el periodo de incubación en la producción de

bioyogur conteniendo *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium bifidum* y provoca un incremento de células pertenecientes a *B. bifidum* durante el almacenamiento, lo que indica que la suplementación con lactulosa puede ser una buena alternativa para mantener el número de bacterias probióticas en el yogur por encima de la dosis sugerida como la cantidad mínima terapéutica durante el almacenamiento (Özer *et al*, 2005).

### III.4 Propiedades y efectos fisiológicos de polisacáridos no digeribles (NDP) y oligosacáridos no digeribles (NDO).

Una descripción general de algunos NDPs y NDOs, su composición química, ocurrencia, los efectos en el intestino humano y en la industria de alimentos está dada en la tabla 6, todos los cuales tienen propiedades características de la fibra dietética.

| <b>Tabla 6. Polisacáridos comerciales no digeribles (Tungland y Meyer, 2002)</b> |                                     |   |  |   |
|--|-------------------------------------|---|--|---|
| <b>Nombre</b>  | <b>Composición</b>                  | <b>Ocurrencia y producción</b>  | <b>Aplicaciones en alimentos</b>   | <b>Efectos fisiológicos en humanos</b>  |
| <b>β-glucanos</b>  | β(1-4)-D-glucosa y β(1-3)-D-glucosa | Cereales (cebada, avena)  | Cereales para desayuno.<br>Alimentos funcionales   | Fermentada en el intestino grueso.<br>Buena producción de butirato. Efectos sobre los lípidos en sangre |
| <b>Curdlan (β-glucano insoluble)</b>   | B (1-3)-D-glucosa                   | Producido por fermentación usando <i>Alcaligenes faecalis</i> var. <i>Myxogenes</i>   | Carne procesada de aves de corral, productos del mar, fideos y pastas, salsas y aderezos, postres, jaleas, biofilms. | Incrementa capacidad de retención de agua   |
| <b>Quitosano</b>   | 2-amino-2-deoxy-β-D-glucosa         | Desacetilación alcalina de quitinas de crustáceos.<br>Paredes celulares de los hongos | Alta viscosidad limita uso en alimentos.   | Disminución del colesterol hepático y los triglicéridos.<br>Interfiere con la absorción intestinal de   |

|  |   |  |   |  |
|--|---|--|---|--|
|  |   | <i>Zygomycetes sp</i>  |   | colesterol.  |
| <b>Celulosa microcristalina</b>            | $\beta(1-4)$ -D-glucosa   | Extraído de plantas, pulpa de madera, bambú, trigo, cáscaras de semillas de algodón.         | Aderezos y salsas, bebidas, productos horneados, cremas batidas   | Incrementa la capacidad de retención de agua. Aumento de la masa fecal parcialmente fermentable en el intestino humano |
| <b>Celulosa modificada (MC, CMC, MHPC)</b> | Varios grupos funcionales substituyendo los OH de la celulosa                             | Reacciones químicas de la celulosa con sosa seguido de reacciones con agentes de sustitución | Cubiertas, rellenos, glaseados, sopas, salsas, productos horneados, biofilms  | Parcialmente fermentable en el intestino humano  |
| <b>Goma Gelana</b>                         | $\beta(1-4)$ -D-glucosa (esqueleto)<br>$\beta$ -D-ácido glucurónico<br>D-ramnosa          | Producto de fermentación usando <i>Pseudomonas elodea</i>                                    | Glaseados, rellenos, gelatinas. Mermeladas bajas en azúcar, jaleas, pudines, confitería                               | Viscosidad. Fermentada a ácidos grasos de cadena corta en el intestino   |
| <b>Goma xantana</b>                        | $\beta(1-4)$ -D-glucosa (esqueleto)<br>$\beta$ -D-ácido glucurónico<br>$\beta$ -D-ramnosa | Producto de fermentación usando <i>Xanthomonas campestris</i>                                | Rellenos de panes, salsas, aderezo de ensaladas, productos lácteos, bebidas, pudines                                  | Viscosidad. Fermentada a ácidos grasos de cadena corta en el intestino   |
| <b>Polidextrosa</b>                        | Enlaces glicosídicos mixtos y aleatorios con enlaces (1-6)-D-glucosa                      | Polimerización térmica al vacío de glucosa, sorbitol y ácido cítrico                         | Agente de carga para sustitución de azúcar en alimentos (confitería, postres, lácteos, productos horneados, rellenos) | Su fermentación produce ácidos grasos de cadena corta, aumento de volumen de las heces y ablandamiento del intestino   |



|   |  |   |  |  |
|---|--|---|--|--|
| <b>Maltodextrina resistente</b>                         | Enlaces glucosídicos mixtos y aleatorios $\alpha(1-4)$ y $\alpha(1-6)$ del almidón y enlaces 1-2 y 1-3 de la transglucosidación  | Producido por la pirolysis de almidón de maíz con HCl                                 | Bebidas, alimentos funcionales. Fibra de baja viscosidad   | Parcialmente digerible, laxante, fermentación en el colon, efectos en los niveles de lípidos   |
| <b>Glucooligosacáridos</b>                              | Mezcla de $\alpha$ -D-glucosa  | Transgalactosilación usando $\alpha$ -glucosidasa de <i>Leuconostoc mesenteroides</i> | Salsas, aderezos para ensaladas, postres congelados,   | Estudios en animales muestran influencia en la microbiota intestinal. No hay estudios en humanos   |
| <b>Isomaltosa-IMA<br/>Isomaltosa-IMT<br/>Panose-PAN</b> | Enlaces lineales de $\alpha(1-6)$ -glucosa con enlaces 1-4, 6-O- $\alpha$ -D-glucopiranosil-D-glucopiranosil-(1-6)- $\alpha$ -D-glucopiranosil-D-glucosa, 6-O- $\alpha$ -D-glucopiranosil-D-glucopiranosil-(1-6)- $\alpha$ -D-glucopiranosil-(1-4)-D-glucosa | Preparado comercialmente por transglucosilación de residuos de glucosa.               | Productos lácteos, productos de panadería, gelatinas, carne procesada, mermeladas bajas en azúcar y jaleas | Estudios en animales y humanos indican influencia en la microbiota intestinal  |
| <b>Carragenina</b>                                      | Mezcla de polisacáridos azufrados compuesto de $\alpha$ -D-galactosa y 3,6-anhidro-D-galactosa   | Extraído de algas rojas   | Productos lácteos, productos de panadería, gelatinas, carne procesada, mermeladas bajas en azúcar y jaleas | Aumenta la viscosidad, disminución del vaciado gástrico, disminuye el tránsito intestinal, propiedades hipoglucémicas. Fermentable en el intestino grueso a ácidos grasos de cadena corta. |
| <b>Agar</b>   | $\beta(1-3)$ -D-galactosa y 3,6-anhidro- $\beta$ -L-   | Extraído de algas rojas, <i>Rhodophyceae</i>  | Productos lácteos, confitería,   | Aumenta la viscosidad. Fermentable en el   |

|  |  |  |   |  |
|--|--|--|---|--|
|  | galactosa  | ( <i>Gelidium sp</i> y <i>Gracilaria sp</i> )  | productos horneados, análogos de carne y postres  | intestino en ácidos grasos de cadena corta.  |
| <b>Acacia (goma arábica)</b>   | $\beta$ -D-galactosa (esqueleto).<br>L-arabinosa, L-ramnosa, D-ácido glucurónico                           | Exudados secos de Acacia Senegal   | Sabores secos.<br>Confitería, pudines, mezclas para pudines, postres y pasteles                             | Fermentable en el intestino.<br>Prebiótico   |
| <b>Pectina</b>   | $\alpha$ (1-4)-D-ácido galacturónico, azúcares neutros, grupos éster                                       | Frutas y vegetales (manzanas, cítricos, semillas de girasol)   | Mermeladas y jaleas, jaleas y mermeladas bajas o libres de azúcar, bebidas, productos de la leche, biofilms | Disminución del vaciado gástrico, disminuye el tránsito intestinal, propiedades hipoglucémicas, disminuye el colesterol en suero |
| <b><math>\alpha</math>-galacto - oligosacáridos</b>                              | RAF, O- $\alpha$ -D-galactopiranosil-(1-6)- $\alpha$ -D-glucopiranosil- $\beta$ -D-fructofuranosido        | Extracción de frijol y legumbres   | Sustituto de azúcares, agente de carga, prebiótico  | Efectos sobre la composición y actividad de la microbiota intestinal   |
| <b><math>\beta</math>-galacto- oligosacáridos o transgalacto- oligosacáridos</b> | $\beta$ -D-galactopiranosil-(1-6)-[ $\beta$ -D-galactopiranosil] <sub>n</sub> - (1-4)- $\alpha$ -D-glucosa | Trasgalactosilación enzimática de lactosa  | Sustituto de azúcares, agente de carga, prebiótico  | Efectos en la microbiota intestinal en su composición y actividad  |
| <b>Lactulosa (LAT)</b>   | 4-O- $\beta$ -D-galactopiranosil-D-fuctosa   | Isomerización alcalina de la lactosa. Síntesis enzimática utilizando lactosa, fructosa y $\beta$ -galactosidasas | Productos lácteos como yogurt.  | Se sugieren efectos en la composición de la microbiota y su actividad  |
| <b>Oligosacáridos de Lactitol (LTOS)</b>   | 4-O- $\beta$ -D-[galactopiranosil] <sub>n</sub> -D-sorbitol  | Trangalactosilación del lactitol usando $\beta$ -galactosidasa de <i>Aspergillus oryzae</i>                      | Desarrollo de alimentos funcionales en Japón  | Estudios en ratas indican efectos en la composición y actividad metabólica   |

|                                 |   |   |   | de la microbiota intestinal  |
|---------------------------------|---|---|---|--|
| <b>Fructanos (tipo levanos)</b> | B-D-(2-6)-fructofuranosil) <sub>n</sub> -α-D-glicopiranosido  | Producido por <i>Bacillus plymyxa</i> de sucrosa  | No hay aplicaciones comerciales   | Algunos datos indican que la adición afecta la composición y metabolismo de la microbiota intestinal. Producción de ácidos grasos de cadena corta, como propionato y butirato. Influencia los niveles de glucosa y lípidos en sangre |
| <b>Fructanos (tipo inulina)</b> | B-D-(2-1)-fructofuranosil-α-D-glucopiranosido   | Topinambur, achicoria y su raíz, cebollas.  | Sustituto de grasa o azúcares, modificador de textura, aderezos y salsas, bebidas, productos horneados, rellenos, postres congelados, carne procesada, glaseados, cubiertas, suplementos alimenticios | Datos indican que la adición afecta la composición y metabolismo de la microbiota intestinal. Producción de ácidos grasos de cadena corta, como propionato y butirato. Influencia los niveles de glucosa y lípidos en sangre         |
| <b>Fructo-oligosacáridos</b>    | Mezcla de 1-ketosa, nistosa y 1f-B-fructofuranosilnistos a β-D-(2-1)-fructofuranosil-β-D-fructofuranosido | Producido por transfructosilación de β-fructosidasa en <i>Aspergillus niger</i> . Degradación parcial enzimática de inulina nativa. | Sustituto de grasa o azúcares, modificador de textura, aderezos y salsas, bebidas, productos horneados, rellenos, postres congelados, carne procesada, glaseados,                                     | Datos indican que la adición afecta la composición y metabolismo de la microbiota intestinal. Producción de ácidos grasos de cadena corta, como propionato y butirato. Influencia los niveles de glucosa y lípidos en sangre         |

|                                       |   |   |  |   |
|---------------------------------------|---|---|--|---|
|                                       |   |   | cubiertas,<br>suplementos<br>alimenticios  |   |
| <b>Galactomananos</b>                 | $\beta$ -(1-4)-D-manosa<br>(esqueleto)<br>$\alpha$ -(1-6)-D-galactosa   | Goma guar<br>( <i>Cyamopsis tetragonolobus</i> )<br>Goma de algarrobo<br>( <i>Ceratonia siliqua</i> ) | Salsas, aderezos para ensaladas, helados, postres congelados.  | Fácilmente fermentable en el intestino con efectos bifidogénicos, mejora la función intestinal. Muestra efectos hipolipidémicos, reduce la glicemia postprandial. |
| <b>Oligosacaridos de la Goma guar</b> | Residuos de galactomananos  | Producidos por hidrólisis parcial de la goma guar   | Alimentos funcionales  | Fermentable por la microbiota del colon. Reducción de lípidos y glucosa en el plasma  |
| <b>Goma karaya</b>                    | Ácido galacturónico acetilado + ramnosa+ galactosa  | Exudado seco del árbol <i>Sterculia urens</i>   | Buñuelos pulverizados, aderezos franceses, queso untables, paletas de hielo, carne picada, merengues | Aumenta la viscosidad. Fermentable en el intestino  |
| <b>Goma tragacanto</b>                | Mezcla compleja de polímeros de ácido D-galacturónico, galactosa, arabinosa, xilosa, restos de almidón y celulosa | Exudado seco de <i>Asiatic sp de Astragalus, Leguminosae (Astragalus gummifer)</i>                    | Aderezos de ensaldas, pepinillos, bebida de pulpa, helado, batidos                                   | Aumenta la viscosidad. Fermentable en el intestino  |
| <b>Arabinogalactanos</b>              | Ramificaciones de $\beta$ (1-3 y 1-6)-D-arabinosa y D-galactosa   | Extraídos de la pulpa de alarces occidentales   | Alimentos funcionales. Suplementos dietéticos  | Algunos datos indican fermentación en el intestino, incrementa la población de Lactobacilos   |
| <b>Psyllium</b>                       | Polímero de arabinosilanos con  | Cáscara de la semilla de <i>Psyllium</i>  | Alimento funcional como  | Reduce el riesgo de enfermedades  |

|                                    |   |   |  |   |
|------------------------------------|---|---|--|---|
|                                    | enlaces 1-4 y 1-3   |   | fuelle de fibra  | coronarias. Reduce colesterol   |
| <b>Xiloglucanos</b>                | B(1-4)-D-glucosa parcialmente sustituida con $\alpha$ -D-xilopiranosu | Extraída de la semilla del árbol de tamarindo ( <i>Tamarindus indica</i> )          | Aditivo alimentario en Japón en salsas, aderezos, helados, mayonesas   | Fermentable en el colon. Aumenta la viscosidad en el intestino delgado  |
| <b>Xilo-oligosacáridos</b>         | B-D-((1,4-xilosa) <sub>n</sub>  | Hidrolisis enzimática parcial del polixilano por xilanasas de <i>Trichoderma sp</i> | Alimento funcional   | No hidrolizable por las enzimas humanas. En ratas se observaron cambios en el patrón metabólico de la microbiota intestinal. Efecto sobre lípidos en sangre |
| <b>Konjac</b>                      | B(1-4)-D-glucosa y D-manosa (glucomanano)                             | Hidratación y purificación de tubérculos de konjac ( <i>Amorphophallus konjac</i> ) | Aglutinante en carne, usado con $\kappa$ -carragenina y coma xantana para gelificar                                      | Reduce colesterol y triglicéridos en suero, influencia en la respuesta de insulina y glucosa  |
| <b>Alginato</b>                    | Ácido $\beta$ (1-4)-D-manurónico y ácido $\alpha$ (1-4)-L-glucurónico | Extraído de algas café ( <i>Phacophyceae</i> )                                      | Productos lácteos, productos de panadería, aderezos de ensaldas, estabilizante de espumas, pudines, productos dietéticos | Aumenta la viscosidad. fermentable en el intestino en ácidos grasos de cadena corta   |
| <b>Oligosacáridos de alginatos</b> | Alto en ácido manurónico y residuos de glucurónico                    | Degradación enzimática del alginato   | Alimentos funcionales  | Datos limitados. Efectos en el metabolismo y composición de la microbiota intestinal  |

# Capítulo IV. Métodos de cuantificación

---

La medición de la fibra dietética es un tema complejo, asociado a la adopción de la definición propuesta para la regulación, la investigación o los efectos de la alimentación, lo cual se traduce en la metodología analítica a escoger.

Si bien se han desarrollado varios métodos para el análisis de la fibra dietética, son dos los principales que se utilizan: métodos gravimétricos y métodos enzimático-químicos.

Los métodos gravimétricos se basan en pesar el residuo que queda después de una solubilización enzimática o química de los componentes que no son fibra. Los métodos enzimático-químicos consisten en aislar los residuos de la fibra dietética por acción enzimática y en liberar por hidrólisis ácida los azúcares neutros que constituyen los polisacáridos de la fibra y medirlos por cromatografía líquida de alta presión (HPLC), cromatografía de gas-líquido (GLC) o colorimétricamente. Los métodos gravimétricos son más sencillos y rápidos, se limitan al cálculo de las fibras totales o de las fibras solubles e insolubles, mientras que los métodos enzimático-químicos son más complejos y lentos, proporcionan la cantidad de cada uno de los azúcares neutros y ácidos, se pueden estimar por separado la lignina y añadirla a la suma de los azúcares individuales dando el contenido de fibra total (Park, 1997).

## IV.1 Métodos gravimétricos

### IV.1.1 Métodos no enzimáticos-gravimétricos

Estos métodos fueron los primeros, e incluyen los métodos de fibra cruda, fibra ácido detergente y fibra neutro detergente (Park, 1997). No miden componentes solubles en agua y, por tanto, subestiman el contenido de fibra dietética (Mohamed *et al*, 2011).

#### VI.1.1.1 Fibra cruda

La fibra cruda es el residuo que queda después de la descomposición química por tratamiento hidrolítico u oxidativo. Se basa en el tratamiento secuencial con ácidos y álcalis en condiciones estandarizadas. Con este método se subvalora en forma importante el contenido de FD ya que se disuelve gran parte de la hemicelulosa y lignina, cantidades variables de celulosa y toda la fibra soluble.

Los valores de fibra cruda no tienen relación con el verdadero valor de fibra dietética de los alimentos. Los valores de fibra dietética generalmente son de 3 a 5 veces mayores que los valores de fibra cruda, pero no puede hacerse un factor de corrección porque la relación entre fibra cruda y fibra dietética varía dependiendo de los componentes químicos. La fibra cruda tiene poca significancia fisiológica en la nutrición humana y no debiera usarse para informar el contenido de fibra de los alimentos (Park, 1997).

#### ***IV.1.1.2 Fibra ácido detergente***

Este método consiste en someter la muestra a ebullición con bromuro de cetiltrimetilamonio en medio ácido y subsecuente filtración y lavado del residuo. Este método da una buena estimación del contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa insoluble en ácido. El método fue aprobado para el análisis de fibra de alimentos para animales (Segura *et al*, 2007).

#### ***IV.1.1.3 Fibra neutro detergente***

Este procedimiento consiste en la extracción del alimento con una solución caliente de laurilsulfato de sodio y la subsecuente determinación gravimétrica del residuo. Este método da una buena estimación de la fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina) y ha sido usado ampliamente para el análisis de alimentos para consumo humano.

En alimentos ricos en hidratos de carbono como cereales y verduras amiláceas, este método sobreestima la fibra neutro detergente. Por ello ha sido necesario modificar esta técnica con el agregado de una  $\alpha$ -amilasa que digiera los hidratos de carbono. La ventaja de este método es que permite determinar la fibra insoluble por un método relativamente simple. La gran desventaja es que la fibra soluble se pierde. Además se ha encontrado que subestima la fibra insoluble en algunos alimentos como la soya y la papa, por la disolución de complejos proteína-fibra.

Este método resultó ser un mejor estimador del valor nutricional de la fibra dietética en alimentos para animales. En la década de 1970, el uso de este método se extendió a la nutrición humana, pero su utilidad sigue siendo limitada.

La diferencia entre el método neutro y ácido detergente es la cuantificación de hemicelulosa, pero existen errores potenciales asociados con esta estimación, por lo que se enfatiza la medición directa de hemicelulosas (Park, 1997; Segura *et al*, 2007).

#### **IV.1.2 Métodos enzimáticos-gravimétricos.**

Con un creciente interés por la fibra dietética en la nutrición humana en la década de 1970 y el desarrollo en el conocimiento de un papel fisiológico para este componente de la dieta, hubo la necesidad de desarrollar un método analítico que midiera la pared celular insoluble, así como los componentes de fibra soluble. Un grupo de investigadores alemanes introdujo el uso de enzimas durante el siglo XIX para eliminar hidratos de carbono disponibles.

El enfoque de los métodos enzimáticos-gravimétricos de la AOAC intenta reflejar el material que entra en el intestino grueso mediante la eliminación de almidón, proteína y grasa y la obtención de un residuo que luego se seca y se pesa. Se hace una corrección para cualquier proteína restante y para las cenizas, y el resultado se expresa como una proporción del material de partida.

Los pasos clave de este método gravimétrico actual incluyen tratamientos enzimáticos para la eliminación de proteínas y el almidón, la precipitación de componentes de fibra dietética soluble de etanol acuoso, filtración y pesaje de los residuos de fibra dietética, y la corrección en proteínas y la ceniza en el residuo. La digestión se lleva a cabo por enzimas específicas que degradan las proteínas (tripsina, pepsina, pancreatina) y el almidón (amilasa, amilogucosidasa) (Mohamed *et al*, 2011; Brunt *et al.*, 2013)

Puede determinarse la fibra insoluble sola, o, por precipitación con alcohol, se puede incluir la fibra soluble y se pueden determinar separadas o juntas (Villalta *et al*, 2005).

Según el momento en el que se provoque la precipitación de la fibra soluble, se obtendrá el resultado analítico de una u otra fracción de fibra dietética.

1. Para la determinación conjunta de la fibra insoluble y la fibra soluble (fibra total), el tratamiento con etanol debe realizarse antes del filtrado o centrifugación, posterior al tratamiento enzimático de digestión.
2. Para la determinación separada de fibra insoluble y fibra soluble, debe realizarse primero el tratamiento enzimático y después filtrar o centrifugar. En el residuo se obtiene la fibra insoluble. El agua de filtrado se trata con etanol al 78 a 80%, precipitando la fibra soluble, se filtra y se cuantifica la fracción de fibra soluble.
3. Puede cuantificarse la fibra soluble del agua de filtrado (sobrenadante) por métodos de diálisis. De esta manera se evita la posibilidad de interferencias por co-precipitación de proteínas y otros componentes.



## **IV. 2 Métodos enzimático-químicos**

Los métodos enzimático-químicos consisten en aislar los residuos de la fibra dietética por acción enzimática y en liberar por hidrólisis ácida los azúcares neutros que constituyen los polisacáridos de la fibra y medirlos por cromatografía líquida de alta presión (HPLC), cromatografía de gases-líquido (GLC) o colorimétricamente. Los ácidos urónicos se determinan colorimétricamente o por descarboxilación y la lignina se determina generalmente por gravimetría (Park, 1997; Segura *et al*, 2007)

### ***IV.2.1 Colorimétricos***

En soluciones ácidas, los hidratos de carbono producen reacciones de condensación con un gran número de sustancias dando productos coloreados que pueden medirse espectrofotométricamente

### ***IV.2.2 Cromatografía de gas líquido (GLC)***

Analiza los hidratos de carbono que componen la fibra dietética después de su derivatización a compuestos volátiles y de su separación con cromatografía de gas líquido.

### ***IV.2.3 Cromatografía líquida de alta presión (HPLC)***

Es posible determinar la composición de los monosacáridos de los residuos de FD empleando HPLC. Aunque este método parece promisorio, su precisión necesita evaluarse en estudios colaborativos.

La fibra dietética como se define actualmente, no puede medirse mediante un método único de análisis debido a la diversidad de sus constituyentes. En la Tabla 7, se resumen los principales métodos de análisis de fibra dietética actualmente empleados.

| Tabla 7. Métodos de análisis para la cuantificación de fibra dietética. |  |   |  |
|---|--|---|--|
| Nombre  | Componentes cuantificados  | Componentes no cuantificados  | Observaciones  |
| <b>Enzimático-Gravimétrico</b>  |  |   |  |
| <b>AOAC 985.29 (Prosky et al, 1992)</b>                                 | Fibra dietética total.<br>Fibra dietética insoluble: Almidón resistente: (RS2, RS3 y RS4)<br>Fibra dietética soluble: Algunas inulinas, povidexrosa, lignina y compuestos asociados  | Algunos almidones resistentes<br>Oligosacáridos no digeribles (fructooligosacáridos y galactooligosacáridos )<br>La mayor parte de la inulina, povidexrosa y maltodextrinas resistentes.  | Basada en la precipitación en 4 partes de etanol al 76% y 1 parte de agua.<br><b>Buffer:</b> Fosfatos (0.08M, pH=6)<br><b>Uso de:</b> α-amilasa termoestable (Termamyl), amiloglucosidasa y proteasa.<br>Corrección de proteína y cenizas.   |
| <b>AOAC 991.43 (Lee et al, 1992)</b>                                    | Fibra dietética total<br>Fibra dietética insoluble: Almidón resistente<br>Fibra dietética soluble: β-glucanos, arabinoxilanos y arabinogalactanos, goma de <i>Psyllium</i> , algunas inulinas, parte de povidexrosa y compuestos asociados | Algunos almidones resistentes<br>Oligosacáridos no digeribles (fructooligosacáridos y galactooligosacáridos )<br>La mayor parte de la inulina y povidexrosa y maltodextrinas resistentes. | Aplicable a alimentos procesados, granos, cereales, frutas y vegetales.<br>Basada en la precipitación en 4 partes de etanol al 76% y 1 parte de agua.<br><b>Buffer:</b> MES-TRIS (morpholinoethansulfonato tris-hidroximetilaminometano) (0.05M MES, 0.05M TRIS, pH=8.2)<br><b>Uso de:</b> α-amilasa termoestable, amiloglucosidasa y proteasa.<br>Corrección de proteína y cenizas. |
| <b>AOAC 992.16 (Mongeau y Brassard, 1993)</b>                           | Fibra dietética total.   | Almidones resistentes<br>Inulina, povidexrosa y maltodextrinas resistentes.<br>Oligosacáridos no digeribles (fructooligosacáridos y galactooligosacáridos )                               | Aplicable a cereales, legumbres, vegetales y frutas<br>Basada en la suma de 2 residuos: Detergente neutro y un precipitación con alcohol (digerida enzimáticamente en autoclave).<br><b>Buffer:</b> Fosfatos (0.1M, pH=7). Solución detergente neutro (pH=6.9 - 7.1)<br><b>Uso de:</b> α-amilasa termoestable, amiloglucosidasa y proteasa.<br>Corrección de proteína y cenizas      |
| <b>Asp et al, 1983</b>  | Fibra dietética total<br>Fibra dietética soluble e insoluble   | Almidones resistentes<br>Inulina, povidexrosa y maltodextrinas resistentes.<br>Oligosacáridos no digeribles (fructooligosacáridos y galactooligosacáridos ).                              | Fibra dietética total como la suma de fibra soluble e insoluble<br><b>Uso de:</b> α-amilasa, pepsina, pancreatina.<br>Corrección de proteína y ceniza  |
| <b>No enzimático-Gravimétrico</b>                                       |  |   |  |
| <b>AOAC</b>   | Fibra dietética total:   | Algunos almidones resistentes.  | Aplicable en alimentos ≤ 2% de almidón, base   |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <b>993.21</b><br><b>(Li y Cardozo, 1994)</b>                         | Fibra dietética insoluble: Almidón resistente (RS2, RS3 y RS4)<br>Fibra dietética soluble: Algunas inulinas y povidexrosa.   | Oligosacáridos no digeribles (fructooligosacáridos y galactooligosacáridos )<br>La mayor parte de la inulina y povidexrosa<br>Maltodextrinas resistentes.                              | peso seco y más del 10% de fibra dietética.<br>Basada en la suspensión e incubación de los alimentos para la solubilización de azúcares y otros componentes y precipitación con etanol.<br>Corrección de proteína y cenizas.   |
| <b>Enzimáticos-Químicos</b>  |  |  |  |
| <b>AOAC 994.13</b><br><b>(Método Uppsala o Theander et al, 1995)</b> | Fibra dietética total<br>Fibra dietética insoluble: Almidón resistente (RS2, RS3 y RS4)<br>Fibra dietética soluble: Algunas inulinas y povidexrosa.<br>Proporciona la composición de azúcares neutros, ácidos urónicos y lignina de Klason | Almidón resistente (RS1)<br>Oligosacáridos no digeribles (fructooligosacáridos y galactooligosacáridos )<br>La mayor parte de la inulina y povidexrosa.<br>Maltodextrinas resistentes. | Aplicable a alimentos y productos alimenticios<br><b>Método:</b> GLC- Colorimétrico- Gravimétrico<br>GLC: Azúcares neutros.<br>Colorimétrico: ácidos urónicos.<br>Gravimétrico: Lignina de Klason<br><b>Buffer:</b> Acetatos (0.1M, pH=5)<br><b>Uso de:</b> α-amilasa termoestable, amiloglucosidasa.<br>Corrección de proteína y cenizas, monosacáridos individuales y ácidos urónicos. |
| <b>AOAC 995.16</b><br><b>(McCleary y Codd, 1991)</b>                 | (1-3)(1-4) β-glucanos  |  | Aplicable en harinas de granos enteros de avena y otros cereales y fracciones de la molienda y productos de cereales con altos niveles de glucosa después de la pre-extracción con etanol acuoso.<br><b>Método:</b> Enzimático<br><b>Uso de:</b> Lichenase (endo-1,3(4)-β-D-Glucanasa, EC 3.2.1.73) y β-glucosidasa y glucosa oxidasa-peroxidasa-mezcla de buffer                        |
| <b>AOAC 997.08</b><br><b>(Hoebregs 1997)</b>                         | Fructanos (oligofructanos, derivados de inulina, fructooligosacáridos)   | Lignina<br>Polisacáridos no amiláceos<br>Almidones resistentes<br>Povidexrosa<br>Maltodextrinas resistentes  | Aplicable a alimentos procesados<br><b>Método:</b> Enzimático- HPAEC-PAD (High-Performance Anion-Exchange Chromatography with Pulsed Amperometric Detection)<br><b>Uso de:</b> amiloglucosidasa liofilizada, inulinasa<br>Corrección de azúcares (fructosa, glucosa, sacarosa, maltitol y galactosa)   |
| <b>AOAC 999.03</b>   | Fructanos (oligofructanos, derivados de la inulina, fructooligosacáridos)  | Lignina<br>Polisacáridos no amiláceos<br>Almidones resistentes<br>Povidexrosa  | Aplicable a todo tipo de alimento<br><b>Método:</b> Enzimático-colorimétrico<br>Uso de: sacarasa, amilasa y fructanasa (exo-inulinase plus endo-inulinase), con borohidruro  |

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  |   | Maltodextrinas resistentes  | alcalino y PAHBAH (p-hydroxybenzoic acid hydrazide).  |
| <b>AOAC 2000.11</b><br><b>Craig et al, 2000)</b> | Polidextrosa  | Lignina, inulina<br>Polisacáridos no amiláceos<br>Almidones resistentes<br>Oligosacáridos no digeribles (fructooligosacáridos y galactooligosacáridos )<br>Maltodextrinas resistentes | Aplicable para la determinación del 2% al 95% (w/w) de polidextrosa en alimentos.<br><b>Método:</b> Enzimático-HPAEC-ED (high pressure anion exchange chromatography with electrochemical detection)<br><b>Uso de:</b> isoamilasa, amiloglucosidasa y fructanasa  |
| <b>AOAC 2001.02</b>                              | Trans-galactooligosacáridos   | Lignina, inulina<br>Polisacáridos no amiláceos<br>Almidones resistentes<br>Maltodextrinas resistentes<br>Polidextrosa   | Aplicable a productos alimenticios seleccionados (yogur bebible, jarabes de frutas, cereales, panecillos)<br><b>Método:</b> Enzimático-HPAEC-PAD (High-Performance Anion-Exchange Chromatography with Pulsed Amperometric Detection)<br><b>Buffer:</b> Fosfatos caliente (0.2M, pH=6.0)<br><b>Uso de:</b> galactosidasa   |
| <b>AOAC 2001.03</b>                              | Fibra dietética total<br>Fibra dietética insoluble: Almidón resistente (RS2, RS3 y RS4)<br>Fibra dietética soluble: Algunas inulinas, polidextrosa, oligosacáridos no digeribles (fructooligosacáridos y galactooligosacáridos) | Algunos almidones resistentes   | Aplicable a maltodextrinas resistentes (RMD) y para los alimentos que contengan $\geq 1.4$ % de RMD (caramelos duros, sopa de pollo y verduras, jugos de uva, pan blanco)<br><b>Método:</b> Enzimático-Gravimétrico-HPLC<br><b>Buffer:</b> Fosfatos (0.08M, pH=6)<br><b>Uso de:</b> amilasa (Termamyl), proteasa, amiloglucosidasa, resinas de intercambio iónico                             |
| <b>AOAC 2002.02</b>                              | Almidón resistente  | Lignina<br>Inulina<br>Polisacáridos no amiláceos<br>Maltodextrinas resistentes<br>Polidextrosa  | Aplicable a plantas y alimentos/materiales que contienen almidón resistente en un rango de entre 2% y 64%<br><b>Método:</b> Enzimático-Colorimétrico<br><b>Buffer:</b> Acetatos (100mM, pH=4.5)<br><b>Uso de:</b> $\alpha$ -amilasa pancreática y amiloglucosidasa, etanol o IMS (Industrial Methylated Spirit), mezcla de GOPOD-aminoantipyrine buffer (reactivo glucosa-oxidasa-peroxidasa) |
| <b>AOAC</b>                                      | Fibra dietética total   | No aplica   | <b>Método:</b> Enzimático-Gravimétrico-HPLC   |

|                                  |   |   |   |
|----------------------------------|---|---|---|
| <b>2009.01</b>                   | Fibra dietética de alto peso molecular (soluble e insoluble)<br>Fibra dietética de bajo peso molecular (soluble)<br>Todos los almidones resistentes |   | <b>Buffer:</b> sodio-maleato (50mM, pH=6)<br><b>Uso de:</b> $\alpha$ -amilasa pancreática, amiloglucosidasa (incubadas en autoclave) y proteasa, resinas de intercambio iónico, Corrección de proteínas, ceniza y blanco.<br><br>• Procedimiento integrado de AOAC: 985.29, 991.43, 2001.03 y 2002.02 |
| <b>Englyst et al, 1984, 1987</b> | Polisacáridos totales, excepto almidón<br>Azúcares neutros y ácidos urónicos  | Lignina<br>Almidones resistentes<br>Inulina<br>Oligosacáridos no digeribles (fructooligosacáridos y galactooligosacáridos )<br>Maltodextrinas resistentes<br>Polidextrosa | <b>Método:</b> Enzimático-Químico (GLC o HPLC, colorimétrico)<br><b>Uso de:</b> $\alpha$ -amilasa, pululanasa o amiloglucosidasa.<br>Corrección de fibra y cenizas  |

Bibliografía consultada: (Park, 1997; Institute of Medicine, 2001; CAC, 2004; Gray, 2006; Guo, 2009; McCleary, 2010; McCleary et al, 2013)

# Conclusiones

---

En los últimos años, la fibra dietética ha ocupado un lugar preferente en la literatura científica, actualmente y después de años de investigación, la fibra dietética forma parte de nuestros alimentos y de lo que se considera una dieta saludable.

El concepto de fibra dietética ha cambiado considerablemente y se reconoce que abarca un intervalo mucho más amplio de sustancias de las que se reconocía anteriormente y que tienen un mayor significado fisiológico y tecnológico de lo que se pensaba. Actualmente las definiciones más aceptadas son las propuestas por la Comisión del Codex Alimentarios y la de la AACC del año 2006 y 2001 respectivamente.

Las propiedades funcionales de la fibra dietética tienen efectos en los productos alimenticios y en el organismo del ser humano debido principalmente a sus propiedades de hidratación y sus características de superficie.

La inclusión de la fibra en la dieta de los seres humanos desempeña una importante función para la prevención y el tratamiento de algunas enfermedades; diversos estudios epidemiológicos han puesto en manifiesto que un consumo adecuado de fibra dietética aporta beneficios para la salud, sin embargo aún no hay una conclusión definitiva. Esto se debe en parte a las diferentes propiedades fisicoquímicas de las distintas fracciones de la fibra, al desconocimiento de los mecanismos por los cuales operan y a la existencia de un posible sinergismo entre diferentes constituyentes de los alimentos.

En cuanto al análisis de la fibra dietética muchos de los métodos presentados en este trabajo, están aprobados por la AOAC; sin embargo, debido a la variabilidad en las definiciones de la fibra dietética, no es posible cuantificarla mediante un método único de análisis. El principal problema para elegir el método radica en la composición de fibra dietética y su interpretación en un contexto analítico.

Es importante destacar que las investigaciones acerca de la fibra dietética no solo continúan sino que están en aumento, al igual que el interés por parte de consumidores y proveedores de alimentos, para el desarrollo de los llamados alimentos funcionales.

# Abreviaturas

---

|            |  |
|------------|--|
| AGCC/SCFAs | Ácidos grasos de cadena corta/ Short-chain fatty acids |
| Ara        | Arabinosa  |
| CDH        | Infarto coronario (Coronary Heart Disease)             |
| CI         | Colitis indeterminada                                  |
| CU         | Colitis ulcerosa                                       |
| EC         | Enfermedad de Crohn                                    |
| EII        | Enfermedad inflamatoria intestinal                     |
| FOS        | Fructooligosacáridos                                   |
| GalU       | Ácido galacturónico                                    |
| Gal        | Galactosa  |
| GOS        | Galactooligosacáridos                                  |
| GP         | Grado de polimerización                                |
| HG         | Homogalacturonano                                      |
| RG-I       | Ramnogalacturonano I                                   |
| RG-II      | Ramnogalacturonano II                                  |
| Rha        | Ramnosa  |
| RS         | Almidones resistentes (Resistan Starch)                |
| SII        | Síndrome del intestino irritable                       |
| SII-D      | SII con predominio de diarrea                          |
| SII-E      | SII con predominio de estreñimiento                    |
| SII-M      | SII con patrón alternante                              |

# Bibliografía

---

AACC: American Association of Cereal Chemists. (2001). Dietary Fiber Technical Committee. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*; 46:112.

AFSSA: Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (2002) Report apports nutritionnels conseillés pour la population française. France.

American Cancer Society (2014). Cáncer colorrectal. Disponible en: <http://www.cancer.org/acs/groups/cid/documents/webcontent/002290-pdf.pdf> . Consultado: 28 de enero de 2016.

American College of Gastroenterology. (2016). Disponible en: <http://patients.gi.org/recursos-en-espanol/diverticulosis-del-colon/> Consultado: 19 de febrero de 2016

Anderson, J. (2004). Whole grains and coronary heart disease: the whole kernel of truth. *The American Journal of Clinical Nutrition* 80. 1459-1460

Anderson, J. Baird, P. Davis, R. Ferreri, S. Knudtson, M. Koraym, A. Waters, V. Williams, C.. (2009). Health benefits of dietary fiber. *International Life Sciences Institute*, 67 (4), 188-205.

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.

Aljuraiban, G., Griep, L. Chan, Q. Daviglius, M. Stamler, J. Van Horn, L. Elliott, P. Frost, G.. (2015). Total, insoluble and soluble dietary fibre intake in relation to blood pressure: the INTERMAP Study. *British Journal of Nutrition*, 114, 1480–1486.

AOAC. (1992). AOAC official methods of analysis 992.16 Total Dietary Fiber. Enzymatic-Gravimetric Method. References: *Cereal Foods World* 35, 319(1990). *J. AOAC Int.* 76, 923(1993).

AOAC. (1993). AOAC official methods of analysis 993.21. Total Dietary Fiber in Foods and Food Products with < 2% Starch. Nonenzymatic-Gravimetric Method. Reference: *J. AOAC Int.* 77, 687(1994).



AOAC. (1994). AOAC official methods of analysis 994.13. Total Dietary Fiber (Determined as Neutral Sugar Residues, Uronic Acid Residues and Klason Lignin). Gas Chromatographic-Colorimetric- Gravimetric Method. Reference: J. AOAC Int. 78, 1030 (1995)

AOAC. (1995). AOAC official methods of analysis 995.16.  $\beta$ -D-glucan in Barley and Oats. Streamlined Enzymatic Method. Reference: J. AOAC Int.80, 580 (1997)

AOAC. (1997). AOAC official methods of analysis 997.08. Fructans in Food Products. Ion Exchange Chromatographic Method. . Reference: J. AOAC Int.80, 1029 (1997)

AOAC. (1999). AOAC official methods of analysis 999.03. Measurement of Total Fructan in Food. Enzymatic/Spectrophotometric Method. Reference: J. AOAC Int.83, 356 (2000)

AOAC. (2000). AOAC official methods of analysis 2000.11. Polydextrose in Food. Ion Chromatographic. Reference: J. AOAC Int.84, 472 (2001)

AOAC. (2001). AOAC official methods of analysis 2001.02. Determination of trans-Galactooligosaccharides (TGOS) in Selected Food Products. Ion Chromatography. Reference: J. AOAC Int. (future issue)

AOAC. (2002). AOAC Official Method 2002.02. Resistant Starch in Starch and Plant Materials. Enzymatic Digestion. Reference: J. AOAC Int. 85, 1103(2002).

Aune D, Chan, D.S, Greenwood, D. C, et al. (2012).Dietary fiber and breast cancer risk: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. Annals of Oncology 23(6).1394-1402.

Barrera, Cruz, A. Rodríguez, González, A. Molina, Ayala, M. A. (2013). Escenario actual de la obesidad en México. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social 51(3). 292-99

Bayer (2016). Disponible en: <http://salud.bayer.es/es/areas-terapeuticas/trastornos-gastrointestinales/que-son-los-trastornos-gastrointestinales/> Consultado: 22 de febrero de 2006.

Bernstein, C. N, Fried, M. Krabshuis, J. H. Cohen, H. Eliakim, R. Fedali, S. Gearry, R. Goh, K. L. Hamid, S. Ghafor-Khan, A. LeMair, A. (2009). Enfermedad inflamatoria intestinal: una perspectiva global. Guías Mundiales de la Organización Mundial de Gastroenterología. 27p

- Betancur, Ancona, D. Pérez, Flores, V. Chel, Guerrero, L. A (2003). Fibra dietética y sus beneficios en la alimentación. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán* (227). 3-13
- Bingham, S. A., Norat, T., Moskal, A., Ferrari, P., Slimani, N., Clavel-Chapelon, F., et al. (2003). Is the association with fiber from foods in colorectal cancer confounded by folate intake? *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*, 14(6). 1552–1556.
- Blecker, C., Chevalier, J. P., Van Herck, J. C., Fournies, C., Deroane, C., & Paquot, M. (2001). Inulin: Its physiochemical properties and technological functionality. *Recent Research Development in Agricultural and Food Chemistry*, 5, 125–13
- Borderías, A. J., Sánchez, Alonso, I., & Pérez, Mateos, M. (2005). New application of fibre in foods: Addition to fishery products. *Trends in Food Science and Technology*, 16, 458–465
- Bourges, H., Casanueva, E., Rosado, J. L. (2009). Recomendaciones de Ingestión de Nutrientes para la Población Mexicana, Bases Fisiológicas. Tomo 2. Editorial Médica Panamericana. México, D. F.
- Brunt, K. Van der Kamp, J.W. Westenbrink, S. (2013). Dietary fibre: Challenges in production and use of food composition data. *Food Chemistry* 140. 562–567
- Buttriss, J. L. Stokes, C. S. (2008). Dietary fibre and health: an overview. *British Nutrition Foundation* 33. 186-200
- CAC: Codex Alimentarius Commission (2004). Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses Twenty-sixth Session “Brückenforum Bonn”, Friedrich-Breuer-Strasse 17, Bonn, Germany, 1 – 5 November 2004 Proposals for a definition and methods of analysis for dietary fibre content. CX/NFSDU 04/3-Add.1
- CAC: Codex Alimentarius Commission (2006). Report of the 27th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses, Bonn, Germany 21-25 November 2005. ALINORM 06/29/26
- CAC: Codex Alimentarius Commission (2009) Report of the 30<sup>th</sup> session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses. ALINORM 09/32/26 November 2008, paras 27–54 and Appendix II, p. 46.

Calva, Arcos, M. Acevedo, Tirado, M. T. (2009). Revisión y actualización general en cáncer colorrectal. *Anales de Radiología México*. 99-115

Cardelle, Cobas, A. (2009). Síntesis, caracterización y estudio del carácter prebiótico de oligosacáridos derivados de la lactulosa. Tesis doctoral inédita. Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, Departamento de Química Física Aplicada. 221p

Casanueva E, Kaufer, Horwitz M, Pérez, Lizaur A, Arroyo P. (2008). *Nutriología Médica*. Editorial Médica Panamericana. México. 443p

Chiavaro, E, Vittadini, E. Corradini, C. (2007). Physicochemical characterization and stability of inulin gels. *Europe Food Research Technology* 225. 85-94.

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.

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.

Dahl, W. J. Stewart, M. L. (2015). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Health Implications of Dietary Fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 115 (11). 1861-1870

Devlin, T. M. (2000). *Bioquímica*. Volumen 2. Barcelona: Editorial Reverté. 1150p

DeVries, J. W. Prosky, L. Li, B. Cho, S. (1999) A Historical Perspective on Defining Dietary Fiber. *American Association of Cereal Chemists*. 367-369

Englyst, K. N. Liu, S. Englyst, HN (2007). Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *European Journal of Clinical Nutrition* 61 (1). S19–S39

Escudero, Álvarez, E. Gonzáles, Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición. Hospitalaria* 21 (2). 61-72.

FAO/WHO (2007): JOINT FAO7WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME CODEX COMMITTEE ON NUTRITION AND FOODS FOR SPECIAL DIETARY USES. 29<sup>th</sup> session-

2007. Disponible en: [ftp://ftp.fao.org/codex/Meetings/CCNFSDU/ccnfsdu29/nf29\\_03e.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/Meetings/CCNFSDU/ccnfsdu29/nf29_03e.pdf)

Consultado: 06 de febrero de 2016

Feduchi, Canosa, E. Blasco, Casteñeyra, I. Romnero, Magdalena, C. S. Yañez, Conde, E.. (2010). Bioquímica. Conceptos esenciales. Madrid: Editorial Medica Panamericana. 379p

Fernández, Ginés, J. M., Fernández, López, J., Sayas, Barberá, E., Sendra, E., & Pérez Álvarez, J. A. (2003). Effect of storage conditions on quality characteristics of bologna sausages made with citrus fibre. *Journal of Food Science*, 68, 710–715

García, M. L., Domínguez, R., Gálvez, M., Gálvez, D., Casas, C., & Selgas, M. D. (2002). Utilization of cereal and fruit fibers in low fat dry fermented sausage. *Meat Science*, 60, 227–236.

García, Peris P. Álvarez -de Frutos V. (2000). Fibra y salud. *Nutrición y obesidad* 3. 127-135.

Gómez, C. de Cos Blanco, A. I. Iglesias, Rosado, C. (2002). Fibra y nutrición enteral. *Nutrición Hospitalaria* 17 (2). 30-40

Gomollón, F. Sans, M. (2012). Enfermedad inflamatoria intestinal. Enfermedad de Crohn. En Montoro, M. A y García-Pagán, J. C. *Gastroenterología y Hepatología. Problemas comunes en la práctica clínica*. Barcelona. Jarpyo Editores, S.A. 443-458

Gray. J (2006) *Dietary Fibre: Definition, Analysis, Physiology and Health*. International Life Science Institute: Brussels, Belgium.

Griguelmo, Miguel, N. Martin, Belloso, O. (1999). Comparison of dietary fibre from by-products of processing fruits and greens and from cereals. *LWT - Food Science and Technology* 32. 503-508

Griguelmo, Miguel, N., Martin, Belloso, O. (1999b). Influence of fruit dietary fiber addition on physical and sensorial properties of strawberry jams. *Journal of Food Engineering*, 41, 13–21.

Guo, M. (2009). Dietary Fiber. En *Functional foods: principles and technology* (63-112). England: Woodhead Publishing Limited.

Heredia, Moreno, A. Jiménez, Araujo, A.J. Fernández, Bolaños, Guzmán, J. Guillén, Bejarano, R. Rodríguez, Arcos, R..(2003). Fibra alimentaria. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.115p

Hernández, M. Gutiérrez, J. P. Reynoso, Noverón, N. (2013). Diabetes mellitus en México. El estado de la epidemia. Salud Pública de México 55 (2). 129-136

Hipsley, E.H. (1953). Dietary “fibre” and pregnancy toxæmia. British Medical Journal 2. 420-422.

Howlett J, Betteridge V, Champ M, Craig S, Meheust A, Jones J. (2010). The definition of dietary fiber - discussions at the Ninth Vahouny Fiber Symposium: building scientific agreement. Food & Nutrition Research 54.

Iglesias, Méndez, N. (2008). Actividades glicosidasas sobre el xilogucano de la pared celular de *Arabidopsis thaliana*. Memoria doctoral (Biología). Universidad de Santiago de Compostela. España

IMSS (2015). Guía de práctica clínica. Diagnóstico y tratamiento del Intestino irritable en el adulto. 16p

Institute of Medicine. (2001). Dietary Reference Intakes Proposed Definition of Dietary Fiber. The United States of America: the National Academy of Sciences.

Jasinski, C. Tanzi, M. N. Lagomarsino, G. López, C. Iglesias, C. (2004) Enfermedad inflamatoria intestinal. Archivo Pediátrico Uruguayo 75 (1). 74-77

Jefferson, A. (2005) Diet and Digestive Health. Primary Healthcare 15. 27-31.

Kendall, Cyril. Esfahani, Amin. Jenkins, David. (2010). The link between dietary fibre and human health. Food Hydrocolloids 24. 42–48

Lattimer, J. Haub, M. (2010). Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health. Nutrients 2. 1266-1289

Ley, R. E. Turnabaugh, P. J. Klen, s. Gordon, J. I. Microbial ecology. (2006) Human gut microbes associated with obesity. Nature 444 (7122). 1022-1030

Li, C. (2010). Canadian Diabetes Association National Nutrition Committee Clinical Update on Dietary Fibre in Diabetes. Food Sources to Physiological Effects. Canadian Journal of Diabetes. 34(4).355-361

López, G. Ros, G. Rincón, F. Periago, M.J. Martínez, C. Ortuño, J. (1997). Propiedades funcionales de la fibra dietética. Mecanismos de acción en el tracto gastrointestinal. Archivos Latinoamericanos de la Nutrición 47 (3). 203-207

Madrigal, L. Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 57(4). 387-396.

Mataix, Verdú JM, Gassull M.A. (2005). Fibra alimentaria. En: Mataix Verdú J.M. Nutrición y alimentación humana. Editorial Océano

Mateu de Antonio, X. (2004). La fibra en la alimentación. Farmacia Hospitalaria. Edikamed (3). 1-32

Matos, Chamorro, A. Chambilla, Mamani, E. (2010). Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 4-17

McBurney, M. I. (2010). Dietary fibre and health: Dietary fibre: insights and opportunities. En Van der Kamp *et al.* Dietary fibre: new frontiers for food and health. Wageningen Academic Publishers. 153-166

McCleary (2010). Development of an Integrated Total Dietary Fiber Method Consistent with the Codex Alimentarius Definition. AACC INTERNATIONAL REPORT. CEREAL FOODS WORLD 55 (1). 24-28

McCleary, B. V. Draga, A. Sloane, N. Megazyme International Ireland Limited, Ireland (2013). Dietary fibre analysis in foods. En Jan A. Delcour y Kaisa Poutanen. Fibre- rich and wholegrain foods. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Number 237

Mearin, F. Montoro, M. A (2012). Síndrome de intestino irritable. En Montoro, M. A y García-Pagán, J. C. Gastroenterología y Hepatología. Problemas comunes en la práctica clínica. Barcelona. Jarpoy Editores, S.A. 523-568

Mearin, Manrique, F (2007). Síndrome del intestino irritable: nuevos criterios de Roma III. Medicina Clínica (Barcelona) 128(9). 335-343

Megazyme. (2016). What is dietary fiber? Irlanda. Disponible en: <https://www.megazyme.com/resources/dietary-fiber/what-is-dietary-fiber>. Consultado: 22 de enero de 2016

Mehta, N., Ahlawat, S. S., Sharma, D. P., & Dabur, R. S. (2015). Novel trends in development of dietary fiber rich meat products—a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 633–647. <http://doi.org/10.1007/s13197-013-1010-2>

Mohamed, E. Dorothea, B. Olivier, R. Souhail, B. Christophe, B. Hamadi, A. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry* 124. 411–421

Mosadeghi, S. Bhuket, T. Stollman, N. (2015). Diverticular disease: evolving concepts in classification, presentation, and management. *Wolters Kluwer Health* 31. 50-55

Muñoz, Ohmen, S. A, Restrepo- Molina, D. A y Sepúlveda-Valencia, J. U. (2012). Revisión: Inulina en Algunos Derivados Cárnicos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín* 65(2). 6795-6804

Özer, D., Akin, S., Özer, B. (2005). Effect of inulin and lactulose on survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* BB-02 in acidophilusBifidus yoghurt. *Food Science and Technology International*, 11: 19-24.

Park, N. (1997). Análisis de fibra dietética. Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. Depósito de documentos de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/AH833S00.htm#Contents> Consultado: 11 de marzo de 2016

Park, Y., Hunter, D. J., Spiegelman, D., Bergkvist, L., Berrino, F., van den Brandt, P. A., et al. (2005). Dietary fiber intake and risk of colorectal cancer: a pooled analysis of prospective cohort studies. *Journal of the American Medical Association* 294(22). 2849–2857.

Parra, A. y Nicolás, D. (2012). Enfermedad diverticular del colon. En Montoro, M. A y García-Pagán, J. C. Gastroenterología y Hepatología. Problemas comunes en la práctica clínica. Barcelona. Jarpyo Editores, S.A. 581-592

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

Porkka, L., Salminen, E., Salminen, S. (1988). The effects of lactulose-sweetened yoghurt on the rate of gastric emptying and intestinal transit in healthy human volunteers. *Z. Ernährungswiss*, 27: 150-154

Quigley, E. Fried, M. Gwee, K. Khalif, I. Hungin, P. Lindberg, G. Abbas, Z. Bustos, L. Bhatia, S. Schmulson, M. Olano, C. Le Mair. A. (2009). Irritable bowel syndrome. World Gastroenterology Organisation Global Guidelines. Practice Guideline. 23p

Quiroga, Ledezma, CC.(2008). Los almidones resistentes y la salud. *Investigación y desarrollo* 131 (8). 131-142

Redgwell, R. J. (2010) Dietary fibre in food fabrication: a changing landscape for consumer and industry. *Food Science & Technology*, 24 (4) 18-20

Regand, A. Goff, H. D. (2003). Structure and ice recrystallisation in frozen stabilised ice cream model systems. *Food Hydrocolloids*, 17, 95–102.

Roberfroid, M. (2000). Chicory fructooligosaccharides and the gastrointestinal tract. *Nutrition* 16(7-8). 677- 679.

Sacks, F. Svetkey, L. Volimer, W. Lawrence, J. Appel, M.D. Bray, G. Harsha, D. Obarzanek, E. Conlin, P. Miller, E. Simons-Morton, D. Karanja, N. Lin, P. (2001). Effects on blood pressure of reduced dietary sodium and the dietary approaches to stop hypertension (DASH) Diet. *The New England Journal of Medicine* 344 (1). 3-10

Sánchez, Alonso, I., Jiménez-Escrig, A., Saura-Calixto, F., & Borderias, A. J. (2007). Effect of grape antioxidant dietary fibre on the prevention of lipid oxidation in minced fish: Evaluation by different methodologies. *Food Chemistry*, 101, 372–378



Sánchez B. (2005). Caracterización Fisicoquímica y funcional de la fibra Dietética del Fruto del Níspero y de Cáscara de Mango Obo. [Tesis para optar el grado de Ingeniero en Alimentos]. Huajuapán de León. México. Universidad Tecnológica de la Mixteca. 76p

Sangnark, A. Noomhorm, A. (2004). Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. *Food Research International*, 37, 66–74

Segura, F. Echeberria, R. Patiño, A. Mejía, A. (2007). Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica* 14 (1). 72-81

Sheard, N. F., Clark, N. G., Brand-Miller, J. C., Franz, M. J., Pi-Sunyer, F. X., Mayer-Davis, E., et al. (2004). Dietary carbohydrate (amount and type) in the prevention and management of diabetes: a statement by the American diabetes association. *Diabetes Care* 27(9). 2266–2271.

Shinozaki, K. Okuda, M. Sasaki, S. Kunitsugu, I. Shigeta, M. (2015). Dietary Fiber Consumption Decreases the Risks of Overweight and Hypercholesterolemia in Japanese Children. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 67, 58-64.

Slavin, J. (2013). Dietary fibre: chemical and biological aspects. En Southgate, *et al.* *Food Science, Technology and Nutrition*. Woodhead Publishing Limited. 61-75

Stephen, A., Phillips, G. Williams, P. (2006). *Food Polysaccharides and their applications*. CRC Taylor and Francis, New York. 733 p.

Sweat, W. Monore, M. (2014). Dietary fiber. Simple steps for managing weight and improving health. *ACSM's Health & Fitness Journal* 19 (1). 9-16

Tungland, B. C. and Meyer, D. (2002). Nondigestible Oligo- and Polysaccharides (Dietary Fiber): Their Physiology and Role in Human Health and Food. *Comprehensive. Food Science and Food Safety*. 3:73-92.

Tzortis, G., Vulevic, J. (2009). Galacto-oligosaccharide prebiotics. En Charabampopoulos, D., Rastall, R. A . *Prebiotics and Probiotics*. New York. Science and Technology XXIV, 1265p.

Ulloa, J. A. Espinosa-Andrews, H. Cruz-Rodríguez, K. G. Rosas-Ulloa, P. Ulloa-Rangel, B. E. Ramirez-Ramírez, J. C. (2010). Los fructanos y su papel en la promoción de la salud. *Revista Fuente* 2 (5). 57-62

Valenzuela, B. A. Maiz G. A. (2006). El rol de la fibra dietética en la nutrición enteral. *Revista chilena de nutrición*, 33(2). 342-311.

Vilaplana, M. (2006). Enfermedades y trastornos gastrointestinales. Tratamiento dietético. *OFFARM* 25 (3). 70-77

Villalta, J. Monferrer, A. Cubero, N. (2005). Fibra dietética. *BDN food solutions* 42. 1-2

Zambrano Z. de la Luz M, Meléndez R, Gallardo Y. (2001). Propiedades funcionales y metodología para su evaluación en fibra dietética. En Lajolo M, Saura F, Witting E. Wenzel E. *Fibra Dietética. Tecnología y Salud. Brasil. Iberoamérica*, 195-209

Zarzuelo, Zurita, A. Gálvez, Peralta, J. (2010). Fibra dietética. En Gil. A. *Tratado de nutrición. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. Madrid. Editorial medica Panamericana*. 232-256

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