

FIBRA PARA EL FUTURO: PROPIEDADES Y BENEFICIOS

Ma. Andrea Trejo-Márquez*, **Alma Adela Lira-Vargas,**
Selene Pascual-Bustamante

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales, Centro de Asimilación Tecnológica, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México

andreatrejo@unam.mx*, adelavargas9@gmail.com, spluna27@gmail.com

<https://doi.org/10.3926/oms.354>

Trejo-Márquez, M.A., Lira-Vargas, A.A., & Pascual-Bustamante, S. (2016). Fibra para el futuro: propiedades y beneficios. En M.E. Ramírez Ortiz (Ed.). *Alimentos Funcionales de Hoy*. Barcelona, España: OmniaScience. 1-34.

Resumen

La fibra es un componente complejo de origen vegetal que incluye polisacáridos de plantas está constituida por los componentes estructurales de las paredes celulares como: la celulosa, la hemicelulosa, las pectinas y la lignina; los cuales son resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas del intestino delgado y llegan al intestino grueso y son atacados por la microflora colónica, dando como resultado ácidos grasos de cadena corta, hidrógeno, dióxido de carbono y metano.

La fibra dietética se puede clasificar según diferentes criterios: origen botánico, naturaleza química de sus componentes, relación con la estructura de las paredes celulares, por las distintas características que las definen, por su composición química, por su situación en la planta o sus propiedades físico-químicas.

Los métodos de extracción y la diversificación de las fuentes utilizadas para obtener fibras ha sido uno de los temas de investigación de los últimos años. Los desechos de frutas, hortalizas y otros vegetales se han estudiado como fuentes alternas de fibra dietética. La fibra ha sido muy estudiada ya que ofrece diversos beneficios a la salud como prevenir la diabetes, cardiopatía o neoplasias del estómago, aligeramiento del tránsito intestinal, eliminación de grasas, entre otras. Además al presentar propiedades funcionales como: la capacidad de hinchamiento, la capacidad de retención de agua y la capacidad de retención de aceite, puede ser explotadas para el desarrollo de nuevos productos alimenticios, brindándole nuevas y mejores características al producto final.

Palabras clave

Fibra, vegetales, extracción, propiedades, funcionales

1.1. Introducción

La fibra está constituida por los componentes estructurales de las paredes celulares de los vegetales, entre los que destacan la celulosa, la hemicelulosa y las pectinas, así como la lignina, que aun cuando no es un hidrato de carbono, se encuentra asociada a ellos y es un compuesto no digerible por el tracto digestivo del humano. La composición de la fibra es muy variada en los distintos alimentos, y depende de muchos factores, entre los que destaca la madurez del producto (Badui-Dergal, 2006). Se conoce como fibra dietética (FD) a los componentes endógenos de las plantas, polisacáridos no almidón y lignina, que son resistentes a la digestión por las enzimas digestivas de los humanos. La FD se clasifica de una forma simplificada en soluble en agua (viscosa), que es fermentada en el colon por las bacterias (pectinas, gomas, mucílagos, β -glucanos y algunas hemicelulosas) e insoluble en agua (no viscosa) que sólo es fermentada en una parte limitada del colon (Fernández-Miranda, 2010).

La FD tiene diversas aplicaciones entre las que se encuentran ser un coadyuvante de la salud pública, incidiendo particularmente en los problemas de nutrición actuales. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte su potencial anticarcinogénico. Las fibras insolubles son capaces de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal. También contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de potenciales carcinogénicos con la mucosa del colon. El tamaño de la partícula de la fibra puede influir en su capacidad de captar agua y será un factor influyente en el procesado del alimento y en la masticación (Escudero-Álvarez & González-Sánchez, 2006).

En los últimos años se ha visto un auge del consumo de FD, producto de las recomendaciones de organismos internacionales, que ha obligado al mercado de alimentos a ofrecer productos combinados de fibra con otros nutrientes, como un elemento importante para una nutrición sana.

De acuerdo con el Comité de Expertos FAO/OMS, la recomendación diaria de FD total para adultos es de 25 g/día. La FD es un nutriente muy utilizado por la industria alimentaria y está siendo estudiada cada día más para su aprovechamiento. Los métodos de extracción y las diversas fuentes, es algo que ha

ido incrementando las investigaciones a nivel mundial. La extracción de FD ha sido principalmente a partir de cereales de grano entero, sin embargo se han ido incluyendo otros grupos como: frutas y hortalizas (Cañas, 2010; García, Infante & Rivera, 2009; Pino, Cediel, & Hirsch, 2009).

1.2. La fibra dietética

1.2.1. Concepto

La fibra dietética o también llamada fibra alimentaria, constituye un importante componente de la dieta, no es una sustancia homogénea y existen diversos tipos de fibra, con mecanismos y efectos fisiológicos diferentes. A través del tiempo ha tenido diferentes conceptos (Tabla 1).

En la actualidad, la fibra total se compone de la suma de fibra dietética más fibra funcional o añadida, siendo ésta una sustancia aislada o separada del alimento o sintetizada en el laboratorio.

La fibra funcional incluye además: otros polisacáridos no amiláceos o hidratos de carbono análogos como el almidón resistentes, diversos oligosacáridos como la inulina y disacáridos, compuestos asociados a las estructuras vegetales, macronutrientes como proteínas y grasa resistentes al ataque de enzimas digestivas y compuestos bioactivos como carotenos, fitoesteroles o polifenoles (Zarzuelo & Gálvez, 2010).

Por lo que finalmente podemos decir que la fibra es un componente complejo de origen vegetal que incluye polisacáridos de plantas y otros compuestos de la pared vegetal con la característica común de ser resistentes a la hidrólisis por las enzimas digestivas del intestino delgado y llegan al intestino grueso y son atacados por la microflora colónica, dando como resultado ácidos grasos de cadena corta (AGCC), hidrógeno, dióxido de carbono y metano.

1.2.2. Clasificación y composición

La fibra dietética se puede clasificar según diferentes criterios: origen botánico, naturaleza química de sus componentes, relación con la estructura de las paredes

Año	Autor	Concepto
1929	McCance y Lawrence	Hidratos de carbono no disponibles, no metabolizables, ni utilizables.
1953	Hispley	Componentes vegetales no digeribles que se encuentran en la pared celular vegetal.
1972	Trowell	Parte de las paredes celulares vegetales, incluidas en la dieta humana que resiste la acción de las secreciones del tracto gastrointestinal.
1974	Trowell	La definición anterior con la adición de sustancias asociadas a los polisacáridos estructurales tales como: la lignina, ceras, cutina, polifenoles, proteínas indigeribles, una fracción de lípidos y compuestos inorgánicos.
1976	Trowell	El remanente de los componentes de la planta que son resistentes a la hidrólisis por las enzimas intestinales humanas.
1981	Englyst y Asp	Conjunto de los polisacáridos, excepto el almidón y la lignina, que resisten a las enzimas del tracto gastrointestinal humano.
1986	Lanza y Butrom	Suma de todos los polisacáridos no amiláceos y la lignina, presente en los alimentos que no son digeribles por las secreciones endógenas del tracto digestivo humano.
1991	Nishimune, Sumimoto, Yakusiji, Kunita	Son todos los componentes indigeribles en los alimentos, los cuales son resistentes a las enzimas digestivas de humanos.
2001	American Association of Cereal Chemist	Es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y la absorción en el intestino delgado, con completa o parcial fermentación en el intestino grueso. Incluye: polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta. La FD promueve efectos fisiológicos beneficiosos como: laxante y/o atenúa los niveles de colesterol y/o de glucosa en sangre.
2008	Codex Alimentarius	Se reconoce que existen tres categorías de fibra dietética, que no son necesariamente equivalentes. La primera categoría reconoce los carbohidratos intrínsecos de la pared celular vegetal, como la principal forma de fibra. La segunda y tercera categorías describen extraídos y polímeros de carbohidratos sintéticos y claramente establecen que para tales categorías para ser incluidos como FD, autoridades competentes deben estar seguros de que el efecto fisiológico beneficioso para la salud se ha demostrado mediante pruebas científicas generalmente aceptadas.

Tabla 1. Concepto de fibra dietética a través del tiempo (Mateu de Antonio, 2004; García-Peris & Velasco-Gimeno, 2007; García, Infante & Rivera, 2008; Zarzuelo & Gámez, 2010; Macagnan, Picolli da Silva & Heckelheuer, 2016; Rainakarí, Rita, Pukonen & Pastell, 2016).

celulares, por las distintas características que las definen, por su composición química, por su situación en la planta o sus propiedades físico-químicas.

De manera general, las fibras se suelen clasificar en función de dos de sus propiedades que son responsables de la mayoría de sus beneficios fisiológicos: comportamiento en contacto con el agua y capacidad de fermentación. Atendiendo a estas características hablamos de fibra insoluble y fibra soluble (Tabla 2).

Así, las fibras que contienen componentes insolubles con menor grado de retención acuosa inicial, tienden a tener un mayor efecto sobre la retención final de agua y, por lo tanto, sobre el peso fecal en comparación con las fibras solubles. La razón de este hecho, aparentemente paradójico, radica en que las fibras solubles que retienen más agua en los segmentos digestivos iniciales son fermentadas por la microbiota intestinal, con lo que se produce más masa bacteriana que contribuye a la masa fecal, pero desaparece el agua que retenían. Por el contrario, la fibra insoluble es mucho menos fermentable por la microbiota, contribuyendo decisivamente a los contenidos fecales por el residuo no digerido y en menor proporción al agua retenida. La mayoría de los alimentos tienen una mezcla de ambos tipos de fibra. El contenido medio de fibra soluble en algunos alimentos, expresado como porcentaje del contenido total de fibra, es el siguiente: 32% en cereales, verduras y hortalizas, 25% en leguminosas y 38% en frutas (Zarzuelo & Gálvez, 2010).

Los componentes químicos que constituyen la fibra se muestran en la Tabla 3. El contenido de estos compuestos depende también del grado de maduración del producto vegetal, puede decirse que el porcentaje de la celulosa aumenta con la maduración y lo contrario ocurre con la hemicelulosa y la pectina. La lignificación representa el envejecimiento de la planta (Escudero-Álvarez & González-Sánchez, 2006).

1.2.3. Fuentes de obtención

De acuerdo con la «Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2005. Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria criterios para brindar orientación», se consideran fuentes de fibra dietética a los cereales, verduras, frutas (de preferencia crudas y con cáscara), leguminosas y otros alimentos como orejones de chabacano o durazno, ciruela pasa, pasas, almendras y nueces.

Tipo de fibra	Característica	Función en el tracto intestinal (estomago, intestino delgado y colon)	Elementos de composición	Capacidad de fermentación
Fibra insoluble o escasamente fermentable y no viscosa	Son compuestos que debido a su composición química presentan una escasa capacidad para retener agua y van a actuar como una «esponja» de forma que el agua queda retenida en su matriz estructural, formando mezclas de baja viscosidad tanto en el estómago como en el intestino delgado.	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta el peso y el volumen de las heces. • Provoca una aceleración del tránsito intestinal y tiene efecto laxante. • Previene estreñimiento, diverticulosis y hemorroides. • Aumenta la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC). 	Lignina	Fibras no fermentables (<10%)
Fibra soluble o fermentable y viscosa	Son compuestos que forman soluciones muy viscosas en agua en el estómago y en el intestino delgado. La propiedad que presenta de retener agua le proporciona sus efectos fisiológicos, una vez que abandona el estómago y llega al colon, es un sustrato altamente fermentable por la microbiota colónica desencadenando varios efectos beneficiosos.	<ul style="list-style-type: none"> • Ralentizar el vaciamiento gástrico. • Ralentizar las funciones digestivas. • Disminución de la glucemia postprandial. • Atenuación de los niveles plasmáticos de colesterol. • Efecto prebiótico y presenta un efecto antiinflamatorio, con una acción protectora frente a diferentes patologías del colon. • Proporcionan sensación de saciedad. 	Gomas Mucilagos Pectinas Determinadas hemicelulosas Almidón resistente Inulina Fructooligosacáridos Galactooligosacáridos	Fibras fermentables (>70%)

Tabla 2. Clasificación de fibra dietética en función del comportamiento en contacto con el agua y capacidad de fermentación (Mateu de Antonio, 2004; García-Peris, 2004; Escudero-Álvarez & González-Sánchez, 2006); García-Peris & Velasco-Gimeno, 2007; Gotteland & Peña, 2011).

Componente	Descripción	Fuente de obtención
Polisacáridos	Son polímeros de hidratos de carbono que contienen más de veinte residuos de monosacáridos	
Celulosa	Es un polisacárido estructural formado por unidades de glucosa, no ramificado con enlaces $\beta(1-4)$ glucosídico, que forma parte de las paredes de los vegetales, tienen un grado de fermentación de 40-60%. Representa la molécula más abundante en la naturaleza.	Verduras verdes, frutas con piel, cítricos, frutos secos, cereales.
Hemicelulosa	Es un polisacárido de cadenas largas con ramificaciones y con una gran variedad de pentosas (D-xilanos) y hexosas (glucosa, manosa y galactosa) ácidos urónicos (galacturónico y glucurónico) y algunos desoxiazúcares en su composición, tienen un grado de fermentación de 60-80%.	Frutas, tallos de plantas y cáscaras de granos.
Pectinas	Son polímeros de ácido galacturónico unido a otros azúcares. La cadena principal posee segmentos de L-ramnosa, D-galactanos y L-arabinanos, unidos al galacturonato, tienen un grado de fermentación de 90-100% y tienen la capacidad de formar geles termorreversibles a pH 3, que en presencia de Ca y otros cationes divalentes los hace insolubles en agua. Se emplea en la elaboración de mermeladas y confituras.	Piel de las frutas, verduras.
Mucílagos	Son sustancias vegetales de carácter viscoso que tienen un grado de fermentación de 80-90%.	Granos, semillas del plántago, lino y algas, flores de malva.
Gomas	Moléculas de alto peso molecular, formadas por un tipo o varios tipos de monosacáridos, son polímeros heterogéneos, reticulares de hexosas, pentosas y ácidos urónicos; principalmente: L-arabinosa, D-galactosa, D-ramnosa y ácido D-glucurónico. Se encuentran en la paredes celulares de las plantas y en los exudados de éstas, tienen un grado de fermentación de 80-90%. Son utilizados como gelificantes y estabilizantes.	Componente natural de algunos alimentos. Aditivo sintético.

Componente	Descripción	Fuente de obtención
Oligosacáridos	Son hidratos de carbono con un nivel de polimerización de tres a diez moléculas de monosacáridos. Son compuestos resistentes a la hidrólisis por las enzimas digestivas humanas y se fermentan por bifidobacterias y los lactobacilos, han puesto de manifiesto su efecto prebiótico y tienen un grado de fermentación del 100%.	
Inulina	Es un fructano polidisperso que consiste en una mezcla de oligómeros y polímeros mayores formados por uniones β -(2-1) fructosil-fructosa. El grado de polimerización proveniente de la achicoria oscila entre 3 y 60, con un valor promedio de aproximadamente 10. Posee un sabor neutral suave, es moderadamente soluble en agua y otorga cuerpo y palatividad. Puede ser utilizada como sustituta del azúcar, reemplazante de las grasas, agente texturizante y/o estabilizador de espuma y emulsiones.	Plátano, cebolla, ajo, espárrago, puerro, alcachofa, trigo y centeno. A partir de la raíz de la achicoria y desde la sacarosa a través de la acción de la β -fructofuranosidasa
Fructo-oligosacáridos (FOS)	Son oligosacáridos lineales de monómeros de fructosa con un grado de polimerización de entre 2 a 20 unidades y de entre 2 y 60 unidades, se obtiene mediante la hidrólisis enzimática parcial de la inulina, está compuesta por cadenas lineales de glucosil-fructosil, fermentan completamente en el colon.	Plátano, cebolla, raíz de achicoria, ajo, espárrago, alcachofa, puerro, trigo y centeno.
Galacto-oligosacáridos (GOS)	Son creados a partir de la acción de una enzima sobre la lactosa. Fermentan casi en su totalidad en el colon.	Leche de vaca y de otros mamíferos Legumbres.

Continúa

(Cont.)

Componente	Descripción	Fuente de obtención
Derivados no hidratos de carbono	Se trata de un grupo referido a polímeros de naturaleza no hidrocarbonada.	
Lignina	Estructura compleja formada por compuestos fenólicos, polisacáridos, ácidos urónicos y proteínas. Contribuyen a dar rigidez a la pared celular haciéndola más resistente. No se digiere ni se absorbe, es atacada por la microflora bacteriana del colon, no tienen grado de fermentación. Una de sus propiedades más interesantes es su capacidad de unirse a los ácidos biliares y al colesterol retrasando o disminuyendo su absorción en el intestino delgado.	Semillas de fruta y vegetales maduros. Salvado de los cereales.
Análogos de hidratos de carbono	Son productos derivados del almidón o hidratos de carbono sintetizados artificialmente que no fueron digeridos en el intestino delgado, pero que sí fueron fermentados en el colon.	
Almidón resistente	El concepto de almidón resistente engloba tanto al almidón como los productos procedentes de la degradación de éste. Prácticamente presenta una fermentación total en el colon aunque una pequeña porción es eliminada por las heces.	Granos, semillas parcialmente molidas, papas y plátano crudo.
Polidextrosa	Es un polímero sintético de glucosa con terminales de sorbitol y ácido cítrico. Es un buen humectante, efectivo para controlar la humedad de los productos. Posee un sabor neutro y una agradable palatabilidad. Puede ser utilizada como fuente de fibra o como prebiótico con efectos benéficos para la flora intestinal. Es conocida por ser un excelente agente de cuerpo, siendo un sustituto del azúcar y grasas.	Granos, semillas parcialmente molidas, papas y plátano crudo.

Tabla 3. Descripción y posibles fuentes obtención de cada tipo de componente de la fibra. (Moreno, 2000; García-Peris, Bretón, De la Cuerda & Cambor, 2002; Escudero-Álvarez & González-Sánchez, 2006; Badui-Dergal, 2006; García-Peris & Velasco-Gimeno, 2007; Olagnero et al., 2007; Gil, 2010).

Esta NOM también establece que se debe promover el consumo de muchas verduras y frutas -de preferencia crudas, regionales y de la estación- que son fuente de carotenos, de vitamina A y C, de ácido fólico y de fibra, y dan color y textura a los platillos; así como recomendar el consumo de cereales, de preferencia integrales o sus derivados y tubérculos, destacando su aporte de fibra y energía.

1.2.3.1. Fuentes convencionales

Es bien conocido que la fuente de fibra insoluble más común se encuentra en productos como cereales comerciales y de grano entero, sin embargo, otras buenas fuentes de fibra insolubles se encuentran en las alubias secas, los guisantes, vegetales y los frutos secos. Por su parte, la avena de grano entero y la cebada, salvado de avena, algunas frutas, alubias secas y otras legumbres son buenas fuentes de fibra soluble (Matos-Chamorro & Chambilla-Mamani, 2010).

En la Tabla 4, se muestran el contenido de fibra soluble e insoluble y total de algunos alimentos cuantificada con diferentes métodos de extracción.

1.2.3.2. Fuentes no convencionales

Los desechos de frutas, hortalizas y otros vegetales se han estudiado como fuentes alternas de fibra dietética, entre ellos se tienen los residuos de la industria de jugo de naranja (Tamayo & Bermúdez, 1998) y maracuyá (Baquero & Bermúdez, 1998), el bagazo de caña de azúcar, la cascarilla del cacao y del frijol lima (*Phaseolus lunatus*). Matos-Chamorro & Chambilla-Mamani (2010) mencionan que las industrias dedicadas a la elaboración de jugo y concentrados cítricos realizan una serie de etapas para su producción, en donde en la etapa final por filtración se eliminan las semillas y el bagazo, compuesto por las membranas también llamadas sáculos. Los residuos obtenidos (cáscaras, semillas y sáculos) representan el 50% del fruto entero y son aprovechados para diferentes propósitos industriales.

Las cáscaras son aprovechadas para la obtención de aceites esenciales y pectinas. Sin embargo pocas son las industrias que se han interesado en aprovechar los

Alimento	AOAC 985.29	AOAC 991.43			AOAC 2009.1		Referencia
	Fibra total	Fibra insoluble	Fibra soluble	Fibra total (%)	Alto peso molecular	Bajo peso molecular	Fibra total
Cereales							
Pan blanco	3	–	–	–	3.0	1.1	4.1
Pan integral	7.5	–	–	–	7.7	0.9	8.6
Pan de pasta cruda	6.7	–	–	–	6.5	2.1	8.6
Harina de trigo	2.4	–	–	–	3.4	2.9	6.3
Grano de trigo	12.8	–	–	–	12.4	2.8	15.2
Pan de centeno integral	–	6.3	2.7	9.0	8.9	2.1	11
Obleas de arroz	–	2.6	0.9	3.5	2.8	1.9	4.7
Soya				10.64– 19.5			
Legumbres cocidas							
Frijoles rojos	–	8.89 (0.67)	2.34 (0.70)	11.22 (0.14)	–	–	–
Garbanzo amarillo	–	5.45 (0.55)	3.74 (0.67)	9.19 (0.46)	–	–	–
Chícharos	–	4.57 (0.51)	1.35 (0.61)	5.92 (0.16)	–	–	–
Lenteja roja	–	8.17 (0.03)	1.06 (0.23)	9.23 (0.21)	–	–	–

Brunt & Sanders (2013); Macagnan et al. (2016)

Hollmann, Themeier, Neese & Lindhauer (2013); Macagnan et al. (2016)

Ferreira, Poppi & Pallone (2015)

Aldwairji, Chu, Burley & Orfila (2014)

Alimento	AOAC 985.29	AOAC 991.43		AOAC 2009.1			Referencia
	Fibra total	Fibra insoluble	Fibra soluble	Fibra total (%)	Alto peso molecular	Bajo peso molecular	Fibra total
Legumbres en conserva							
Frijoles rojos	–	3.84 (0.73)	1.65 (0.36)	5.49 (0.44)	–	–	–
Garbanzo amarillo	–	6.42 (0.15)	0.99 (0.23)	7.41 (0.34)	–	–	–
Chícharos	–	4.27 (0.22)	0.92 (0.27)	5.19 (0.13)	–	–	–
Frutas							
Pulpa de manzana		57.87 (0.3)	18.97 (0.92)	76.84 (1.24)			Macagnan et al. (2015)
Jugo de naranja	0.7	–	–	–	1.0	1.4	2.4
							Westenbrink, Brunt, Van der Kamp (2013)
Nopal: Cladodio		3.3-3.4 (0.2)	2.1-2.7 (0.2)	5.4-6.2 (0.2)			
Pulpa		3-3.3 (0.25)	0.98 (0.05)	4-4.3 (0.35)			Chahdoura et al. (2015)
Semilla		39-40 (1.5)	15-16 (1)	55-56 (1)			
Tuna (g/kg) Pulpa		42-76 (3)	76-124 (3)	140-166 (6)			Jiménez-Aguilar, López-Martínez, Hernández-Brenes, Gutiérrez-Urbe & Welti-Chanes (2015)

*Los valores entre paréntesis indican la desviación estándar.

Tabla 4. Contenido de fibra total, soluble e insoluble de algunos alimentos determinados con diferentes métodos.

residuos como fibra dietética. Algunos estudios realizados señalan que los sáculos de naranja representan un desecho al que no se ha prestado debida atención, pues existe evidencia de que son ricos en fibra dietética (70%) y poseen buena relación de fibra dietética soluble e insoluble (Matos-Chamorro & Chambilla-Mamani, 2010).

En la Tabla 5, se muestran algunas fuentes de fibra dietética no convencionales.

Alimento	Fibra total	Fibra insoluble	Fibra soluble	Referencia
Diferentes mezclas comerciales de cápsulas de café express (mg/taza 40mL)	142.4-348.3	–	–	Lopes et al (2016)
Comino (g/100g)	33.32	25.31	8.01	Ma et al. (2015)
<i>Agave tequilana</i> (g/100g)	10	5	5	Moyano et al. (2016)
<i>Hibidus sabdariffa</i> (g/100g)	6.44	5.05	1.39	
Gabazo de naranja (g/100g)	54.82	29.65 (1.49)	25.17	Macagnan et al. (2015)
Piel de maracuya (g/100g)	18.97	25.17 (0.22)	19.22	
Alga (<i>Ulva lactuca</i>) (g/100g)				Yaich et al. (2015)
Método Englys	53.09	21.54	31.55	
Método Prosty	54.9	34.37	20.53	
Cascarilla de soya (g/100g)				Yang, Xiao y Wang (2014)
AOAC 991.43	59.8-87.50	54.5-86.50	1-5.30	
AOAC 2011.25	58.7-88.50	55.2-85.90	2.60-3.50	

Tabla 5. Contenido de fibra total, soluble e insoluble de residuos de algunos alimentos o alimentos no convencionales.

1.2.4. Métodos de extracción de fibra

La obtención de concentrados de fibra, así como sus propiedades, están en función de la fuente empleada (frutas, vegetales, leguminosas o cereales), de su estado de madurez, época de producción, lugar de cosecha y procesamiento al que sea sometida (Pérez, 2003; Grijelmo & Martín, 1999; Baquero & Bermúdez, 1998).

Los métodos tradicionales para la obtención de fibra involucran operaciones como trituración para disminuir tamaño de partícula, lavado para eliminar carga microbiana, residuos y azúcares simples; filtración y secado para prolongar su vida útil y finalmente, la molienda y el envasado (Pérez, 2003). Actualmente también son empleados tratamientos como extrusión, autoclavado e hidrólisis en medios ácidos o alcalinos, que se aplican en fuentes con alto contenido de fibra dietética con el fin de hidrolizar parte de esta fracción para obtener una mejor relación de fibra dietética soluble e insoluble y para inducir a los residuos de fibra propiedades funcionales deseables para un sistema alimenticio específico (Priego-Mendoza, 2007). Las condiciones de procesamiento en el método, cambian la composición y microestructura de la fibra dietética, lo que a su vez, conduce a efectos deseables e indeseables en sus propiedades físico-químicas y funcionales (Meng-Mei, 2015).

Sin embargo, aunque existan diferentes tratamientos para la extracción de fibra es necesario tener en cuenta que un tratamiento eficaz debe ser de bajo costo y bajo consumo energético, fácil recuperación y reutilización, además de ser aplicable a diversos materiales con eficacia y reproducibilidad (Hamelinck, Hooijdonk & Faaij, 2005).

En forma general Castells (2000) agrupa los tratamientos empleados para la solubilización y separación de uno o más de los componentes de los residuos en tres categorías: físico, químico y biológico.

1.2.4.1. Tratamientos físicos

Su principal uso es denominado como pretratamiento de los residuos. No obstante, algunas veces tales técnicas se pueden usar como complemento al método químico y biológico. Algunas operaciones de este tratamiento son: la absorción, adsorción, decantación, flotación, centrifugación, filtración, destilación entre

otro. Sin embargo, los tratamientos físicos pueden llegar a modificar las propiedades de la fibra, incluso los contenidos de fibra dietética y fibra insoluble presentes en los residuos de fibra. A continuación se mencionan algunos trabajos sobre la obtención de fibra dietética por métodos físicos y las características del producto obtenido.

Martínez-Bustos, Larrea y Chang (2005) indicaron que al aplicar un tratamiento por extrusión en residuos de fibra se observaron cambios en los contenidos de fibra dietética soluble e insoluble debido a la ruptura de enlaces de los polisacáridos constituyentes de ambas fracciones de fibra, lo cual condujo a la formación de fragmentos moleculares más soluble, pudiendo ser recomendable este tratamiento para residuos con alto contenido de fibra dietética insoluble.

Por otra parte Chang y Morris (1990) reportaron que en el caso de tratamientos en autoclave se produjo un efecto de ruptura en la estructura de fibra, pues al realizar un estudio con fibra de cáscara de manzana, al ser observada al microscopio electrónico, encontraron la formación de grietas en la superficie de la fibra, reportando que dicho efecto pudo atribuirse a la presión alta generada por el autoclavado. Este tratamiento pueden llegar a cambiar la estructura física de la fibra, por lo que sería poco recomendable para fibras provenientes de frutas, pues al ser fibras suaves la fracción soluble se vería muy afectada, pudiéndose perder con mayor facilidad llegando a disminuir su calidad.

Otro método físico para la obtención de fibra, es la aplicación de vapor. En este tratamiento las fibras son sometidas a alta temperatura y presión, para provocar luego una expansión súbita, con la cual se logra una limpieza de la fibra, a la vez que disminuye su higroscopicidad, promueve la solubilización de la hemicelulosa y la conversión enzimática de algunos polisacáridos (Negro, Manzanera, Oliva & Ballesteros, 2003). Gutiérrez, Zuluaga, Cruz y Gañan (2005), realizaron la extracción de fibra de plátano mediante el sometimiento de la muestra a vapor saturado a 190°C por ocho minutos, obteniendo como resultados que la aplicación de vapor remueve algunas de las sustancias presentes en la superficie de las fibras como son pectinas o ceras, produciendo un posible debilitamiento en la pared exterior de la fibra que se traduce en una reducción del comportamiento mecánico, también el tratamiento permite incrementar el área superficial de las fibras.

Martínez-Silva (2015) menciona que para la obtención de fibra de piña se comienza por retirar el penacho o corona, se transporta en bandas y se retira la cáscara de la piña y los polos, después cae en bandas que van directo al procesamiento de diversos subproductos, todos los restos de fruta que no entran dentro de un tamaño, así como el corazón cae a un canal llamado gusano de pulpa, siguiendo por el canal llega al molino donde se obtiene puré de 5 mm que puede contener pequeños trozos de fruta, posteriormente se bombea hasta el siguiente molino, éste cuenta con una malla de 0.01 pulgadas y aquí se obtiene un puré del 1.5 al 6% de fibra de piña, y que finalmente pasa a través de un molino con una malla de 0.5 mm y es secado (Figuras 1 y 2).

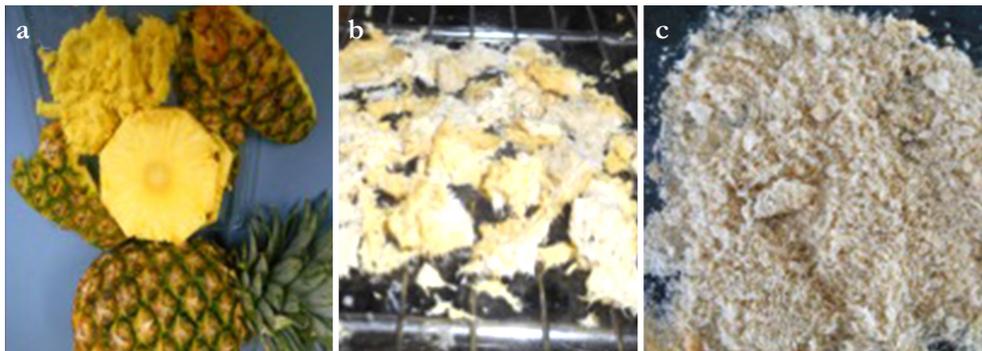


Figura 1. Obtención de fibra de piña: (a) retiro de corona y cáscara, (b) secado y (c) fibra deshidratada.

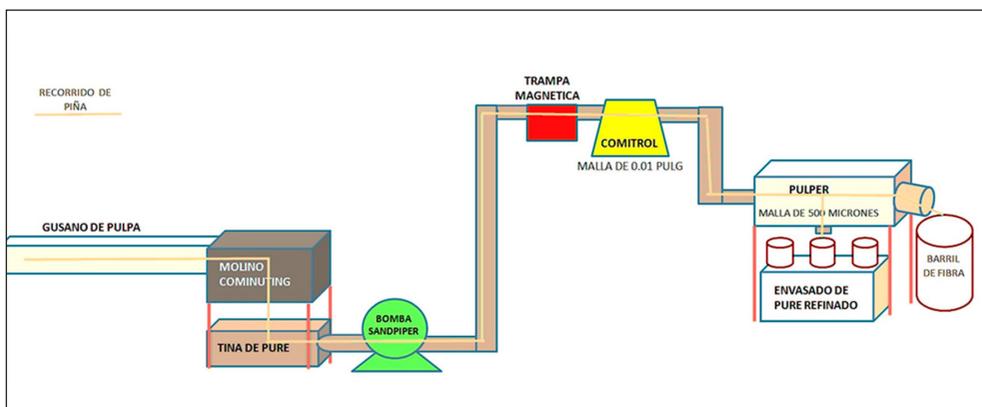


Figura 2. Proceso de obtención de fibra de piña fresca (Martínez-Silva, 2015).

1.2.4.2. Tratamientos químicos

Los tratamientos químicos consisten en provocar alteraciones en la naturaleza química del mismo, mediante el uso de equipos y reactivo, se provocan reacciones, para convertirlos en otras sustancias que no sean perjudiciales para el medio ambiente o bien que permitan su reutilización en algún proceso industrial (Meng-Mei, 2015). Sin embargo, los tratamientos químicos han recibido mayor atención debido a que los tratamientos físicos llegan a ser relativamente ineficientes y los enzimáticos (biológicos) muy específicos. Dentro de los tratamientos químicos se han utilizado diferentes procesos con diferentes sustancias y condiciones (Castells, 2000).

Los métodos químicos contribuyen a una pérdida de 100% de fibra dietética soluble, el 30-40% hemicelulosas, y 10-20% de celulosa, debido a la interrupción de ligamiento glucosídico (Meng-Mei, 2015). En algunos residuos de fibra de cereales y bagazos como los de coco y caña, que poseen un alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que sus fibras son duras, por lo que para su obtención se aplican tratamientos con ácidos, sales o peróxidos, para hidrolizar las estructuras de la fibra al destruirse los enlaces entre polisacáridos, así como las paredes celulares lignificadas (Fernández & Rodríguez, 2001), con la finalidad de hacer menos duros dichos residuos y poderlos incorporar en alimentos para humanos.

Un ejemplo de la obtención de fibra por métodos químicos es el realizado para la extracción de fibra de nopal, efectuando el proceso de extracción en tres etapas: escaldado, prensado y purificado, en donde emplearon soluciones alcalinas de NaOH y KOH en diferentes concentraciones, donde observaron que estos compuestos no afectaron de forma significativa la estructura de la fibra, la cual

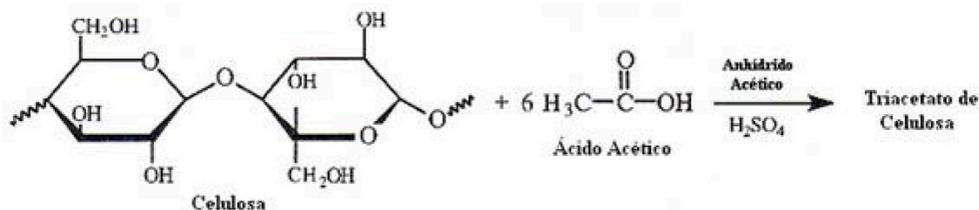


Figura 3. Reacción de hidrólisis de la celulosa en medio ácido

presentó mayor porcentaje de lignina, alrededor de un 30%. Mientras que el uso de soluciones alcalinas para debilitar la pared celular y facilitar la separación del tejido paranquimático y fibra tiene como consecuencia una degradación superficial, la cual se ve reflejada en la capacidad de estiramiento (Aquino-González, Rodríguez, Méndez & Hernández, 2007).

Cabe mencionar que el cambio en el medio extractivo de pH, alterara las propiedades funcionales de la fibra, como lo reporta Rasgado-Vázquez, Trejo-Márquez y Pascual-Bustamante (2016), quienes aplicaron una extracción química de fibra en los dos medios (ácido y básico) para la obtención de fibra proveniente de residuos de piña, en donde se observó una disminución en el rendimiento de fibra obtenida en el medio ácido, sin embargo, presentaron mayor capacidad de hinchamiento, así como capacidad de retención de aceite. Guerrero-Colín, Trejo-Márquez, Moreno-Lara, Lira-Vargas y Pascual-Bustamante (2016) utilizaron el método químico para la extracción de fibra de cáscara de cacahuete, encontrando que con HCl 0.5N y 1N, se lograron rendimientos aproximadamente del 75%. Además la fibra presentó adecuadas propiedades funcionales, registrándose valores para la capacidad de retención de agua entre 2.41 y 2.95 g/g de agua y de 3.28 g/g para la capacidad de retención de aceite. Generando alternativas de aprovechamiento para los residuos industriales de algunos vegetales como cacahuete o alcachofa (Figura 4).

Generalmente las condiciones de extracción empleadas en los métodos convencionales provocan la degradación térmica de ciertos compuestos, lo cual llega a generar pérdidas de cantidad y calidad del producto a obtener. En algunos casos la obtención de ciertos compuestos a partir de residuos de la agroindustria, como



Figura 4. Fibra de cáscara de cacahuete (a) y de alcachofa (b) extraídas por el método químico alcalino.

por ejemplo, fibra o pectinas por métodos químicos, es combinada o asistida con algunos equipos, como es el caso de las microondas y el ultrasonido de alta frecuencia. Ya que permiten realizar las extracciones en menor tiempo y con mejor calidad y rendimiento (Fishman, Chau, Hoagland & Ayyad, 2000; Fishman, Chau, Hoagland & Hotchkiss, 2006).

1.2.4.3. Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos se aplican para ciertos productos orgánicos que pueden ser degradados en productos relativamente inocuos por la acción biológica de microorganismos. Los procesos que se usan en estos tratamientos son: fangos activados, tratamientos por bacterias o compostaje.

Existen también métodos químicos, enzimáticos y enzimático-químicos, que son algunas técnicas que se utilizan actualmente para extraer fibra dietética a partir de diferentes fuentes de alimentos. Las condiciones de procesamiento en el método, cambian la composición y microestructura de la fibra dietética, lo que a su vez, conduce a efectos deseables e indeseables en sus propiedades físico-químicas y funcionales (Meng-Mei, 2015).

Para los métodos enzimáticos, dos o tres enzimas tales como amilasa, amiloglucosidasa y la proteasa se utilizan en el proceso de extracción enzimática para eliminar el almidón, el azúcar soluble y proteínas, que aumentan la complejidad y coste. El método enzimático-químico disminuye el rendimiento de la fibra dietética, debido a la pérdida de polisacáridos durante la hidrólisis química y tratamiento previo (Meng-Mei, 2015).

Otro método biológico para la obtención de fibra, es por medio de las fermentaciones. La fermentación es un proceso en el que se presentan cambios químicos y físicos en un sustrato de naturaleza orgánica, el cual ocurre como resultado de la acción de un complejo enzimático y microorganismo relacionados. Es también denominado como una respiración en ausencia de oxígeno, es un proceso metabólico en donde los carbohidratos y otros compuestos relacionados son parcialmente oxidados, con liberación de energía en la ausencia de algunos electrones aceptadores externos. Este proceso anaerobio genera menor energía, que el proceso aerobio.

Dentro de los procesos de fermentación como ya se había mencionado los microorganismos juegan un papel importante, por ello dentro del grupo hay uno denominado como fermentación bacteriana, en el cual el ácido pirúvico, es el intermediario principal en la degradación de la glucosa, su catabolismo involucra muchos mecanismos diferentes que forman una variedad de productos finales característicos de las fermentaciones bacterianas. Los monosacáridos son catabolizados como resultado de la oxidación a ácido pirúvico, a través de una secuencia de pasos metabólicos por enzimas específicas. Las bacterias pueden utilizar vías diferentes para formar ácido pirúvico y más de una vía puede ocurrir de manera simultánea en el mismo microorganismo (Rondinone & Giovaniello, 2003).

Los principales productos obtenidos de una fermentación bacteriana son:

- Ácido láctico
- Ácido acético y fórmico
- Ácido láctico y alcohol etílico
- Etanol
- Acetilmetilcarbonil (acetoina) y CO₂
- Ácido succínico a ácido propiónico y CO₂
- Acetona a alcohol isoprolílico (isopropánol) y CO₂
- Ácido butírico a alcohol butílico (butanol)

Las bacterias actúan como los principales agentes en la fermentación de los carbohidratos estructurales y la proteína de las plantas. Los protozoos se encargan de la digestión de carbohidratos no estructurales, intervienen en el fraccionamiento físico del alimento y juegan un importante papel como reguladores del pH ruminal. Los hongos son los primeros organismos en invadir y digerir el componente estructural de las plantas y tienen una relación estrecha con las bacterias del material vegetal, iniciando el proceso de degradación de las fracciones insolubles del alimento (Angulo, Noguera & Berdugo, 2005).

Baena y García (2012), obtuvieron fibra dietética a partir de cascarilla de las semillas tostadas de cacao, por medio del proceso de fermentación, en donde se empleó una α -amilasa de *Bacillus licheniformis*, encontrándose un contenido de fibra dietética total de 76% después de la hidrólisis enzimática, la cual indicó que la composición química de la cascarilla fue de celulosa 17.4%, hemicelulosa 6.4%, pectinas 19.6% y lignina 32.4%. Mostrando que los tratamientos biológicos generan buenos rendimientos y otro tipo de características a las fibras obtenidas.

1.2.4.4. Propiedades funcionales de la fibra

Las propiedades funcionales están vinculadas a la capacidad de las macromoléculas para fijar en sus estructuras una cierta cantidad de moléculas de agua y aceite. De este modo, tales macromoléculas presentarán unas propiedades muy específicas, dependientes tanto de su conformación estructural como de las interacciones con el agua o el aceite, estas propiedades se reflejan en parámetros como la capacidad de retención de agua y aceite, o la capacidad de hinchamiento (Bello, 2000).

La expresión «capacidad de retención de agua» generalmente se emplea para hacer referencia a la cantidad de agua que una proteína o un hidrato de carbono (macromoléculas en general) puede retener sin que haya liberación del líquido. Dicha capacidad depende de factores intrínsecos (tipo de polímero, peso molecular, linealidad, etc.) y de factores extrínsecos (pH, fuerza iónica, temperatura, presencia de ciertos cationes, etc.). La retención de agua puede causar la formación de un gel; tal es el caso de los producidos por las carrageninas y las pectinas. Las macromoléculas actúan entre sí y forman una red tridimensional en la que queda atrapada el agua debido a una fuerte hidratación de polímero (Badui-Dergal, 2006).

La capacidad de retención de aceite está relacionada con la capacidad para absorber grasa bajo la acción de una fuerza mecánica; cuando esta retención es baja proporciona una sensación no grasosa en los productos fritos, cuando es alta, imparte a los productos cárnicos jugosidad y mejor textura (Peraza, 2000; Sánchez, 2005). Mientras que la capacidad de hinchamiento es una medida del volumen obtenido por una masa definida de fibras cuando se obtiene el equilibrio en presencia de un exceso de solvente (agua) (Thebaudin, Lefebvre, Harrington & Burgeois, 1997).

Las propiedades funcionales de la fibra son las responsables de los efectos fisiológicos que desarrolla y están influenciadas por la matriz estructural de la fibra, la relación fibra soluble/fibra insoluble, el tamaño de partícula, la fuente, así como por el grado y el tipo de procesamiento llevado a cabo (Figuerola, Hurtado & Estevez, 2005; Saura, Goñi & Ferrer, 2003).

1.2.5. Beneficios del consumo de alimentos altos en fibra

El consumo de la fibra se realiza por las personas que buscan una dieta equilibrada, en la que la fibra es un factor de regulación intestinal que previene de

enfermedades y trastornos fisiológicos, y también por las personas que presentan un tipo de enfermedad o alteración (López & Marcos, 1999).

Los componentes solubles e insolubles de la fibra dietética ejercen distintos efectos en la salud. El componente que ha recibido mayor atención es la fracción soluble porque se le asocia con la reducción del colesterol en la sangre, en tanto que la fracción insoluble afecta el tránsito intestinal y la tasa de absorción de nutrientes. A esta última se le considera como agente engrosante o de relleno y como un compuesto terapéutico para prevenir o combatir la constipación mediante la activación de los movimientos peristálticos del estómago. La fibra insoluble reduce la biodisponibilidad de los minerales, pero ayuda a reducir la tasa de absorción de glucosa, lo cual es benéfico para los diabéticos. Así mismo, esta fracción insoluble tiene la propiedad de ligar o simplemente minimizar la exposición de agentes carcinogénicos al lumen intestinal (Serna, 1996; Betancur-Ancona, Pérez-Flores & Chel-Guerrero, 2003).

En la Figura 5, se esquematizan los problemas de salud que provoca un déficit en el consumo de fibra.

El consumo de alimentos integrales permite la obtención de todos los nutrimentos a la vez: proteínas, lípidos, hidratos de carbono, vitaminas, minerales y particularmente de fibra. Aunque no se han establecido recomendaciones específicas

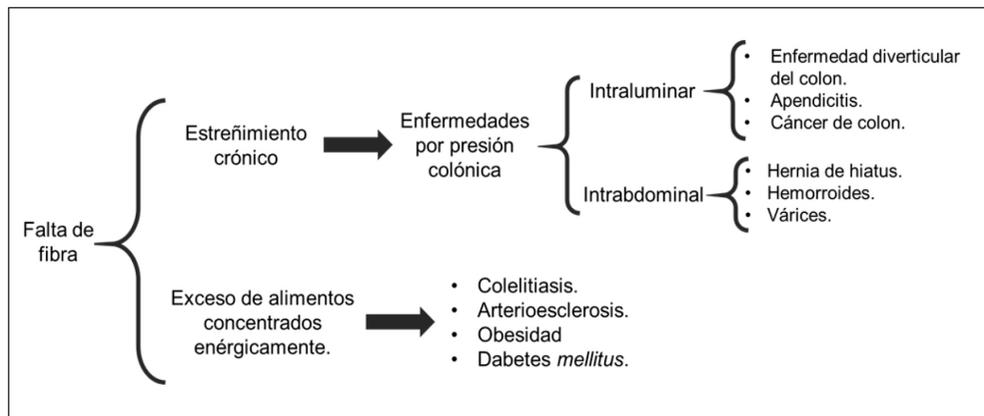


Figura 5. Consecuencias para la salud por un consumo bajo de fibra (Elaborado a partir de información de Betancur-Ancona et al., 2003).

de la cantidad de fibra alimentaria, se recomienda un consumo de entre 25 y 30 g de fibra (Betancur-Ancona et al., 2003).

1.2.6. Alimentos funcionales

Hasta el momento, no hay una definición mundialmente acordada de alimento funcional. Sin embargo, de acuerdo con lo establecido en el documento de consenso europeo, denominado «*Functional Food Science in Europe*» (FUFOSE) en 1999: «un alimento puede considerarse funcional cuando se demuestra adecuadamente que, además de sus efectos nutritivos, interviene beneficiosamente en una o más funciones del organismo de forma que mejora su estado de salud o bienestar, o reduce el riesgo de enfermedad» (Olagnero *et al.*, 2007; Bravo-Rivera, 2012).

Un rasgo característico de los productos alimenticios modernos es la complejidad en su composición de la formulación, es decir, la presencia en el producto de un gran número de ingredientes alimenticios de diferente naturaleza química, con las propiedades que se incluyen en el proceso de fabricación, requeridas para producir el alimento del deseado valor biológico y nutricional. Durante los últimos 30 años la cantidad y variedad de alimentos concentrados han aumentado significativamente. Una parte importante de estos productos se presenta en forma de polvos y mezclas multicomponentes (polvos vegetales, concentrados secos de jugos y bebidas, comida para bebés, mezclas de harina y otras composiciones de alimentos, etc.) (Tikhonova, Popov, Tikhonov & Tikhonov, 2014).

La forma de elaboración es la principal diferencia entre los alimentos tradicionales y los funcionales. Los procedimientos para obtener alimentos funcionales son muy diversos. Se pueden confeccionar a partir de alimentos tradicionales pero sufriendo ciertas modificaciones, tales como la eliminación de algún componente que tenga efectos fisiológicos negativos, aumento o adición de algún componente que tenga un efecto fisiológico positivo o incluso sustitución parcial de un componente con efecto negativo por otro con efecto positivo. Los componentes más destacables que hacen a un alimento funcional son: la fibra dietética, azúcares alcoholes, o azúcares de baja energía, aminoácidos, ácidos grasos insaturados, como los omega-3 y el ácido linoleico conjugado (CLA), fitoesteroles, vitaminas y minerales, antioxidantes, bacterias ácido-lácticas y otras sustancias excitantes o tranquilizantes (Cadaval, Artiach-Escauriaza, Garín-Barrutia, Pérez & Aranceta, 2005).

1.2.6.1. *Aplicación de fibra en la elaboración de alimentos funcionales*

La fibra es utilizada como un componente funcional en la industria alimentaria para retribuir la fibra que se pudo haber perdido en etapas previas del procesamiento de un producto, y como aditivo al favorecer retención de líquidos, sustituyendo grasas o sirviendo como emulsificante (Betancur-Ancona et al., 2003).

Debido a la versatilidad de su uso, los tecnólogos en alimentos han buscado desarrollar fórmulas para añadir este aditivo o ingrediente en la mayor cantidad de alimentos. A continuación, se presentan en la Tabla 6 algunos productos alimenticios que han sido enriquecidos con fibra y las características que aporta este enriquecimiento.

Alimento	Característica que confiere la fibra
Cereales para el desayuno	Los cereales integrales son considerados como la mejor fuente de fibra debido a su contenido de salvado. La adición de salvado de avena a los cereales para desayuno ha enriquecido el contenido de fibra a casi el doble con respecto a las hojuelas de avena tradicionales.
Productos de panadería	La fibra ayuda en su fortificación, a la reducción de calorías y el enlazamiento de agua que resulta de gran interés por impartir frescura en el pan y un mayor rendimiento.
Confitería	Con la incorporación de fibra derivada de frutas, pueden obtenerse mejoras de color y sabor en pasteles y en galletas.
Pastas	Con fibras neutras, mejora su calidad nutricional.
Productos Lácteos	Empleando fibra ayuda a evitar la separación de fases o sinéresis.
Bebidas	Aumenta su textura, ya que las hace más viscosas.
Productos cárnicos	Mejora la textura, ayuda a conseguir productos bajos en grasas.

Tabla 6. Productos alimenticios que han sido enriquecidos con fibra y las características (Rasgado-Vázquez, 2015)

Agradecimientos

Al Proyecto Desarrollo tecnológico para el aprovechamiento integral de frutas y hortalizas (PAPIIT IT201216) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM.

Referencias

- Aldwairji, M.A., Chu, J., Burley, V.J., & Orfila, C. (2014). Analysis of dietary fibre of boiled and canned legumes commonly consumed in the United Kingdom. *Journal of Food Composition and Analysis*, 36, 111-116. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.010>
- Angulo, R.E., Noguera, R.R., & Berdugo, J.A. (2005). El búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) un eficiente utilizador de nutrientes: aspectos sobre fermentación y digestión ruminal. *Livestock Research for Rural Development*, 17(6). Disponible en [http://www.lrrd.org/lrrd17/6/angu17067.htm#Livestock%20Research%20for%20Rural%20Development%2017%20\(6\)%202005](http://www.lrrd.org/lrrd17/6/angu17067.htm#Livestock%20Research%20for%20Rural%20Development%2017%20(6)%202005)
- Aquino-González, L.V.; Rodríguez,R.J.; Méndez, R.A.M. & Hernández, A.S.E. (2007). Extracción y caracterización de fibra de nopal (*Opuntia ficus indica*). *Naturaleza y Desarrollo*, 10(1), 46-63.
- Badui-Dergal, S. (2006). *Química en alimentos*. México: Alhambra Mexicana.
- Baena, L.M., & García, C.N.A. (2012). *Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir de cascarilla de las semillas tostadas de Theobroma cacao L. de una industria chocolatera colombiana*. Tesis para obtener el grado de licenciatura. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías.
- Baquero, C., & Bermúdez, A. (1998). *Los residuos vegetales de la industria de jugo de maracuyá como fuente de fibra dietética*. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México. 207-214.
- Bello, G.J. (2000). *Ciencia bromatológica. Principios generales de los alimentos*. España: Diaz de Santos.

- 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(4), 3-13.
- Bravo-Rivera, G. (2012). *Caracterización de una tostada elaborada con maíz y alga Ulva clathrata*. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Brunt, K., & Sanders, P. (2013). Improvement of the AOAC 2009.01 total dietary fibre method for bread and other high starch containing matrices. *Food Chemistry*, 140(3), 574-580. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.109>
- Cadaval, A., Artiach-Escauriaza, B., Garín-Barrutia, U., Pérez-Rodrigo, C., & Aranceta, J. (2005). *Alimentos funcionales, Para una alimentación más saludable*. SENC. España.
- Cañas, Z.A. (2010). *Aplicación de concentrado de cáscara de arveja (pisum sativum) como fuente de fibra dietaria en derivado cárnico (hamburguesa)*. Tesis Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Castells, X.E. (2000). *Reciclaje de residuos industriales*. España: Díaz Santos.
- Chahdoura, H., Morales, P., Barreira, J.C.M., Barros, L., Fernández-Ruiz, V., Ferreira, I.C.F.R., & Achour, L. (2015). Dietary fiber, mineral elements profile and macronutrients composition in different edible parts of *Opuntia microdasys* (Lehm.) Pfeiff and *Opuntia macrorhiza* (Engelm.). *LWT – Food Science and Technology*, 64, 446-451. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.011>
- Chang, C., & Morris, C.W. (1990). The effect of heat treatments on dietary fiber as assessed by scanning electron microscopy. *Journal of Food Processing*, 14(5), 335-343. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1990.tb00138.x>
- Escudero-Álvarez, E., & González-Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21(2), 61-72.
- Fernández-Miranda, C. (2010). La fibra dietética en la prevención del riesgo cardiovascular. *Nutrición clínica y dietética hospitalaria*, 30(2), 4-12.

- Fernández, P.M., & Rodríguez, S.J. (2001). Tecnología para la obtención de fibra dietética a partir de materias primas regionales. La experiencia en Cuba. En *Fibra dietética en Iberoamerica: tecnología y salud, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos*. Brasil: Varela. 212-213.
- Figuerola, F., Hurtado, M., & Estevez, A. (2005). Fibre concentrates from Apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91(1), 395-401. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.036>
- Fishman, M.L., Chau, H.K., Hoagland, P., & Ayyad, K. (2000). Characterization of pectin, ash extracted from orange albedo by microwave heating, under pressure. *Carbohydrate Research*, 12(323), 126-138.
- Fishman, M.L., Chau, H.K., Hoagland, P.D., & Hotchkiss, A.T. (2006). Microwave-assisted extraction of lime pectin. *Food Hydrocolloids*, 20(8), 1170-1177. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.01.002>
- Ferreira, D.S., Poppi, R.J., & Pallone, J.A.L. (2015). Evaluation of dietary fiber of Brazilian soybean (*Glycine max*) using near-infrared spectroscopy and chemometrics. *Journal of Cereal Science*, 64, 43-47. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.04.004>
- García, O.E., Infante, B.R., & Rivera, J.C. (2009). Las leguminosas, una fuente importante de fibra alimentaria: una visión en Venezuela. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 40(1), 57-63.
- García, O.E., Infante, B.R., & Rivera, J.C. (2008). Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 21(1), 25-30.
- García-Peris, P. (2004). *La fibra en la alimentación. Ámbito Hospitalario*. Edikamed, 2.
- García-Peris, P., & Velasco-Gimeno C. (2007). Evolución en el concepto de la fibra. *Nutr Hosp*, 22(2), 20-25.
- García-Peris, P., Bretón, L.I., De la Cuerda, C.C., & Cambor, A.M. (2002). Metabolismo colónico de la fibra. *Nutr. Hosp*, 18(2), 11-16.

- Gil, A. (2010). *Tratado de Nutrición, Bases fisiológicas y Bioquímicas de la Nutrición. Nutrición Humana en el Estado de salud. Tratado de nutrición clínica* (2da ed.). Madrid, España: Médica Panamericana.
- Gottelan, M., & Peña, F. (2011). *La fibra dietética y sus beneficios para la salud. Industrias Alimentarias*. INTA, Universidad de Chile. 32-33.
- Grijelmo, M.N., & Martín, B.O. (1999). Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. *Food Research International*, 31(5), 335-336.
- Guerrero-Colín, J.I., Trejo-Márquez, M., Moreno-Lara, J., Lira-Vargas, A.A., & Pascual-Bustamante, S. (2016). Extracción de fibra de los desechos agroindustriales de cacahuete, para su aplicación en el desarrollo de alimentos. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 806-812.
- Gutiérrez I., Zuluaga, R., Cruz, J., & Gañan, P. (2005). Influencia del tratamiento con vapor sobre la estructura y comportamiento físico-mecánico de fibras de plátano. *Información Tecnológica*, 16(2),15-21. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642005000200003>
- Hamelinck, C.N., Hooijdonk, G.V., & Faaij, A.P. (2005). Ethanol from lignocellulosic bio mass: Techno-economic performance in short, middle and long term. *Biomass and Bioenergy*, 28(1), 384-410. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.09.002>
- Hollmann, J., Themeier, H., Neese, U., & Lindhauer, M.G. (2013). Dietary fibre fractions in cereal foods measured by a new integrated AOAC method. *Food Chemistry*, 140(3), 586-589. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.005>
- Jiménez-Aguilar, D.M., López-Martínez, J.M., Hernández-Brenes, C., Gutiérrez-Uribe, J.A., & Welti-Chanes, J. (2015). Dietary fiber, phytochemical composition and antioxidant activity of Mexican commercial varieties of cactus pear. *Journal of Food Composition and Analysis*, 41, 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.01.017>
- Lopes, G.R., Ferreira, A.S., Pinto, M., Passos, C.P., Coelho, E., Rodrigues, C., Figueira, C., Rocha, S.M., Nunes, F.M., & Coimbra, M.A. (2016). Carbohydrate content, dietary fibre and melanoidins: Composition of espresso from single-dose coffee capsules. *Food Research International*, 89(2), 989-996. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.018>

- López, V., & Marcos, A. (1999). La fibra de cada día. *Cuadernos de Nutrición*, 22(3), 109-114.
- Ma, M., Mu, T., Sun, H., Zhang, M., Chen, J., & Yan, Z. (2015). Optimization of extraction efficiency by shear emulsifying assisted enzymatic hydrolysis and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Food Chemistry*, 179, 270-277. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.136>
- Macagnan, F.T., Picolli da Silva, L., & Hecktheuer, L.H. (2016). Dietary fibre: The scientific search for an ideal definition and methodology of analysis, and its physiological importance as a carrier of bioactive compounds. *Food Research International*, 85, 144-154. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.032>
- Macagnan, F.T., Rodrigues dos Santos, L., Roberto, B.S., Aline de Moura, F., Bizzani, M., & Picolli da Silva, L. (2015). Biological properties of apple pomace, orange bagasse and passion fruit peel as alternatives sources of dietary fibre. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 6, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2015.04.001>
- Martínez-Bustos, F., Larrea, M.A., & Chang, Y.K. (2005). Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. *Food Chemistry*, 89(2), 301-308. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.037>
- Martínez-Silva, I.J. (2015). *Caracterización de una fibra dietética a partir de residuos obtenidos de la piña*. Tesis de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.
- Mateu de Antonio, X. (2004). La fibra en la alimentación. *Farmacia Hospitalaria*, 3, 1-16.
- 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 investigación ciencia tecnología de alimentos*, 1(1), 4-17.
- Meng-Mei, M.T. (2015). Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin. *Food Chemistry*, 1(194), 237-246.
- Moreno, R.R. (2000). *Nutrición y Dietética para los tecnólogos de alimentos*. Madrid: Ediciones Díaz Santos.

- Moyano, G., Sáyago-Ayerdi, S.G., Largo, C., Caz, V., Santamaria, M., & Taberbero, M. (2016). Potential use of dietary fibre from *Hibiscus sabdariffa* and *Agave tequilana* in obesity management. *Journal of Functional Foods*, 21, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.11.011>
- Negro, M.J.P., Manzanares, J.M., Oliva, I., & Ballesteros, M. (2003). Changes in various physical/chemical parameters of *pinus pinaster* wood after steam explosion pretreatment. *Biomass & Bioenergy*, 25(3), 301-308. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00017-5)
- NOM-043-SSA2-2005. Norma Oficial Mexicana. Servicios basicos de salud. Promoción y educacion para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientacion.
- Olagnero, G., Abad, A., Bendersky, S., Genevois, C., Granzella, L., & Montonati, M. (2007). Alimentos funcionales: fibra, prebióticos, probióticos y simbióticos. *Diaeta* (B. Aires), 25(121), 20-33.
- Peraza, G.M. (2000). *Caracterización de los residuos fibrosos de Canavalia ensiformis L. y su incorporación a un producto alimenticio*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Pérez, N.C. (2003). *Elaboración y caracterización de complemento alimenticios con un alto contenido de fibra dietética de maracuyá (Passiflora edulis)*. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Pino, A., Cediel, G., & Hirsch, S. (2009). Intake of Animal versus Vegetable Food and Cardiovascular Risk. *Rev Chil Nutr*, 36(3), 201.216.
- Priego-Mendoza, N. (2007). *Obtención de fibra dietética a partir de sáculos de naranja aplicando un tratamiento con vapor*. Tesis de Ingeniería en Alimentos. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Huajapan de León, Oaxaca, México.
- Rainakari, A.-I., Rita, H., Putkonen, T., & Pastell, H. (2016). New dietary fibre content results for cereals in the Nordic countries using AOAC 2011.25 method. *Journal of Food Composition and Analysis*, 51, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.06.001>

- Rasgado-Vázquez, S.M. (2015). *Extracción de fibra de residuos agroindustriales para su aplicación en alimentos funcionales*. Tesis de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.
- Rasgado-Vázquez, S.M., Trejo-Márquez, M.A., & Pascual-Bustamante, S. (2016). Extracción de fibra de residuos agroindustriales para su aplicación en alimentos funcionales. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 448-456.
- Rondinone, S., & Giovanniello, O. (2003). *Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica* (3ª Ed.). Buenos Aires: Medicina Panamericana.
- Sánchez, B. (2005). *Caracterización Físicoquímica y funcional de la fibra Dietética del Fruto del Níspero y de Cáscara de Mango*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero en Alimentos. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Huajuapán de León, Oaxaca, México.
- Saura, F.D., Goñi, I., & Ferrer, R. (2003). Fibra dietaria en cerveza: contenido, composición y evaluación nutricional. *Cerveza y Salud*, 158(2), 51-60.
- Serna, S.S. (1996). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. México, DF: A.G.T. Editor.
- Thebaudin, J., Lefebvre, A.C., Harrington, M.B., & Burgeois, C.M. (1997). Dietary fibres: nutritional and technological interest. *Food Science and Technology*, 8(1), 41-47. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01007-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01007-8)
- Tamayo Y., & Bermúdez, A.S. (1998). Los residuos vegetales de la industria de jugo de naranja como fuente de fibra dietética. En M. Lajolo & E. Wenzel (Ed.). *Temas de Tecnología de alimentos. Fibra Dietética* (181-189; vol. 2). México: Instituto Politécnico Nacional.
- Tikhonova, I.N., Popov, A.M., Tikhonov, N.V., & Tikhonov, V.V. (2014). Harnessing the capabilities of spray granulation in the food industry for the production of functional foods. *Procedia Chemistry*, 10, 419-423. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.070>

- Westenbrink, S., Brunt, K., & Van der Kamp, J.W. (2013). Dietary fibre: Challenges in production and use of food composition data. *Food Chemistry*, 140(3), 562-567. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.029>
- Yaich, H., Garna, H., Bchir, B., Besbes, S., Paquot, M., Richel, A., Blecker, C., & Attia, H. (2015). Chemical composition and functional properties of dietary fibre extracted by Englyst and Prosky methods from the alga *Ulva lactuca* collected in Tunisia. *Algal Research*, 9, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.02.017>
- Yang, J., Xiao, A., & Wang, C. (2014). Novel development and characterization of dietary fibre from yellow soybean hulls. *Food Chemistry*, 161, 367-375. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.030>
- Zarzuelo, A., & Gálvez, J. (2010). Fibra dietética. En A. Gil (Ed.). *Tratado de Nutrición* (2ª Ed.). Madrid-España: Médica Panamericana.