



Obtención de fibra soluble a partir de desechos  
agroindustriales y su aplicación en alimentos

# TESIS

Que para obtener el Grado de  
Maestro en Ciencias en Ingeniería Bioquímica

Presenta:

Roberto Carlos Martínez Yañez

Dra. María Eva Rodríguez Huevo

Directora de tesis

Ecatepec de Morelos, Estado de México, marzo 2022



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**AVISO DE TERMINACIÓN DE PROYECTO  
DE TESIS**

TIT04-ANEXO PM



DIRECCIÓN ACADÉMICA

DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

PROGRAMA DE POSGRADO: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA

Folio: MCIBQ/2020/MAYR930201

Fecha: 31 de marzo del 2022

Después de las revisiones, observaciones y seguimiento de recomendaciones hechas al proyecto de tesis: Obtención de fibra soluble a partir de desechos agroindustriales y su aplicación en alimentos, que como requisito para obtener el grado de maestría presenta

**MARTÍNEZ**

**YAÑEZ**

**ROBERTO CARLOS**

Apellido paterno

Apellido materno

Nombres (s)

Matrícula: 202011422

La Directora de Proyecto Dra. MARÍA EVA RODRÍGUEZ HUEZO da por concluido su desarrollo para proceder a la impresión del trabajo correspondiente y la defensa pública del mismo.

Vo. Bo. COMITÉ TUTORIAL

*[Handwritten signature of Dra. María Eva Rodríguez Huevo]*

**Dra. María Eva Rodríguez Huevo**  
Director

*[Handwritten signature of Dr. Alfonso Sánchez Totosaus]*

**Dr. Alfonso Sánchez Totosaus**  
Asesor

*[Handwritten signature of Dra. María Aurora Martínez Trujillo]*

**Dra. María Aurora Martínez Trujillo**  
Asesor



Elaboró:	Revisó:	Vo. Bo.:
Dra. María Eva Rodríguez Huevo Director de Proyecto	<i>[Handwritten signature]</i> Dr. Rafael Alejandro Ángel Cuapio Coordinador de Posgrado	<i>[Handwritten signature]</i> M. en IQ. Judith Cervantes Ruiz Jefe de División



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**DICTAMEN DE LIBERACIÓN DE  
PROYECTO DE TESIS  
TIT05-ANEXO PM**



**DIRECCIÓN ACADÉMICA**  
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA  
PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA BIOQUÍMICA

Fecha: 31 de marzo del 2022.

**Datos generales**

Nombre del alumno:

**Martínez**

Apellido paterno

**Yañez**

Apellido materno

**Roberto Carlos**

Nombres (s)

Matrícula: **202011422**

PROYECTO: **OBTENCIÓN DE FIBRA SOLUBLE A PARTIR DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES Y SU APLICACIÓN EN ALIMENTOS**

DIRECTOR: **Dra. María Eva Rodríguez Huevo**

**Dictamen:**

Con base en el registro No. MCIBQ/2020/MAYR930201 correspondiente al periodo escolar 2020-1, asignado al proyecto de tesis OBTENCIÓN DE FIBRA SOLUBLE A PARTIR DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES Y SU APLICACIÓN EN ALIMENTOS, y presentado por la alumna referida; y después de haber sido desarrolladas las actividades requeridas, el Comité Tutorial, conformado por los integrantes que firman al calce, ha determinado que **SI ( X ) NO ( )** han sido cubiertos en su totalidad los requisitos que permitan a esta División Académica liberar al alumno de los trámites académicos para tal efecto e iniciar el trámite de obtención de grado de maestría en la Unidad de Registro y Certificación de este Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

**Observaciones:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Comité Tutorial

*[Handwritten signature]*

**Dra. María Eva Rodríguez Huevo**  
Directora

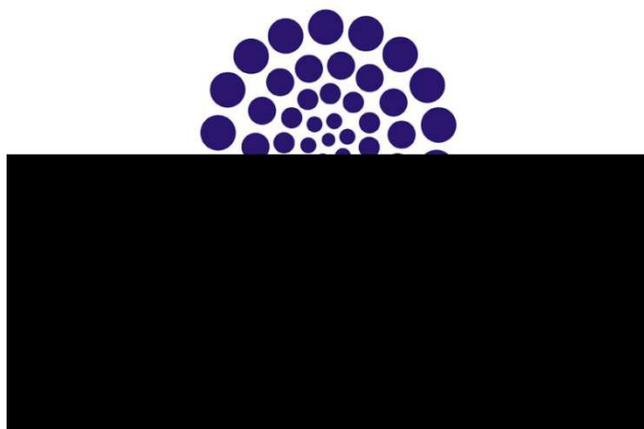


*[Handwritten signature]*  
**Dr. Alfonso Totosaus Sánchez**  
Asesor

*[Handwritten signature]*

**Dra. María Aurora Martínez Trujillo**  
Asesora

Elaboró: <i>[Handwritten signature]</i> Dr. Rafael Alejandro Ángel Cuapio Coordinador de Posgrado	Revisó y Visto Bueno: <i>[Handwritten signature]</i> M. en IQ. Judith Cervantes Ruiz Jefa de División	Enterado: <i>[Handwritten signature]</i> M. en A. Armando Alcalde Martínez Director Académico
--	--	--



El Posgrado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec esta incluido en el Padrón Nacional de Posgrado de Posgrado, con el numero de referencia 1665-0.

Esta Tesis fue realizada con el apoyo de la Beca 1034129 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

## Agradecimientos

Al Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec por abrirme sus puertas y aceptarme para la realización de mi maestría.

Agradezco el apoyo brindado por parte de CONACYT sin el cual no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

Agradezco a mi directora la Dra. María Eva Rodríguez Huevo por sus múltiples enseñanzas, consejos y el tiempo que se tomó para la realización de esta tesis, así mismo por los momentos que tuvimos tanto en las asesorías como en las clases que tuve con ella.

También a mis revisores el Doc. Alfonso Totosaus y la Dra. María Aurora Martínez por su tiempo y a las observaciones realizadas para que este trabajo fuera más concreto y firme.

### Dedicatorias

A Dios por permitirme cumplir este proyecto que considero es un pilar muy fuerte en mi formación profesional y personal.

A mis papás Roberto y Celina que me brindan día a día su apoyo, amor y comprensión en todos los proyectos que he realizado.

Así mismo para mis hermanos Yessenia e Ivan por los buenos momentos en los que ambos me apoyaron y escuchaban mis temas de investigación.

También con profundo cariño a mis abuelos Efren y Margarita así como a mi Tía Lorena que estuvieron al pendiente desde el primer día en que asistí al TESE, por su cariño, sus sabios consejos y su incondicional apoyo.

Y por supuesto a la Dra. Eva por sus increíbles conocimientos, su apoyo y por el tiempo dedicado hacia mí.

**Con cariño**

**Roberto**

## Contenido

Agradecimientos .....	iv
Dedicatorias .....	v
Índice de figuras .....	vii
Índice de tablas .....	viii
Resumen.....	1
Introducción .....	1
Marco Contextual.....	2
Justificación .....	4
Objetivos .....	4
Planteamiento del problema .....	5
Antecedentes .....	5
Metodología .....	6
Definición y clasificación de la fibra dietética .....	7
Funcionalidad tecnológica de la fibra dietética .....	11
Beneficios para la salud de la fibra dietética .....	15
Mecanismos de acción de las fibras dietéticas .....	18
Métodos oficiales para analizar la fibra alimentaria.....	22
Métodos de extracción de fibra a nivel industrial y aplicación en distintos productos .....	27
Métodos emergentes utilizados específicamente para la modificación de fibra dietética .....	31
Aplicaciones de la fibra en alimentos.....	36
Retos e investigaciones a futuro .....	43
Conclusiones .....	43

Referencias.....	44
------------------	----

### Índice de figuras

Figura 1: Cáscara de naranja como principal residuo.....	3
Figura 2: Fracciones de cáscar y semillas de tomate.....	4
Figura 3: Principales alimentos que contienen FDS y FDI .....	9
Figura 4: Clasificación de la fibra en función de la solubilidad.....	10
Figura 5: Capacidad de retención de agua y viscosidad, propiedades de las fibras .....	12
Figura 6: Aplicaciones de la propiedad formadora de geles, especialmente en postres y confitería.....	14
Figura 7: Principales frutas consumidas en México que aportan fibra dietética .....	16
Figura 8: Hortalizas que contienen mayor contenido de FDI.....	17
Figura 9: Principales cereales que aportan grandes cantidades de fibra.....	18
Figura 10: Colecistoquinina, hormona que promueve la saciedad.....	21
Figura 11: Métodos de análisis de fibra en alimentos .....	23
Figura 12: Equipo usado para realizar molienda húmeda en maíz.....	29
Figura 13: Equipo utilizado para determinar fibra cruda y detergente automatizado .....	30
Figura 14: Kit enzimático Fibertec.....	31
Figura 15: La FD agregada a productos de confitería .....	41
Figura 16: La miga uniforme debido a que se adicionó FD .....	42
Figura 17: Estructura de la pectina .....	43

## Índice de tablas

Tabla 1.: Resumen de los métodos oficiales para analizar la fd, según lo descrito por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales y (AOAC) y los compuestos medidos por cada método .....	23
Tabla 2: Ventajas y desventajas de los métodos de extracción de fibra.....	26
Tabla 3: Contenido de FD en productos alimenticios .....	36
Tabla 4: Influencia de la FD en productos alimenticios procesados .....	38

## Resumen

En este trabajo se realizó una amplia investigación sobre los conceptos de fibra dietética ya que actualmente se ha demostrado que la población sufre de enfermedades como diabetes, cáncer, obesidad entre otras; todas estas relacionadas con una mala alimentación, consumo ineficiente de fibra y una falta de actividad física. Se ha demostrado que el consumo de fibra dietética beneficia en varios aspectos la salud a través de la alimentación. Cabe mencionar que en el mundo existe una gran cantidad de desechos agroindustriales que no son aprovechados, estos residuos contienen grandes cantidades de fibra dietética que mediante algún tratamiento, pueden ser aprovechados e incorporarse en alimentos. También se investigaron los beneficios que aporta la fibra dietética y sus mecanismos de acción, sus propiedades tecnológicas al incorporarlas a los alimentos y como es que ayudan a mejorar sus características finales. Así mismo se investigaron los métodos oficiales más comunes para analizar y extraer fibra dietética, y finalmente los métodos emergentes que pueden convertir la fibra dietética insoluble en soluble a partir de desechos agroindustriales y así usarlos como aditivo o ingrediente para la elaboración de un alimento rico en fibra soluble.

## Introducción

La fibra dietética (FD) está compuesta de ingredientes vegetales comestibles, carbohidratos y sus análogos que no pueden ser digeridos o absorbidos en el intestino delgado, pero pueden ser fermentados parcial o completamente por los microorganismos presentes en el intestino grueso. La FD juega un papel clave en el mantenimiento de las funciones fisiológicas normales al mejorar la flora intestinal, estabilizar las concentraciones de glucosa en sangre, reducir la presión arterial y los lípidos en sangre, así como reducir los riesgos de enfermedad cardiovascular (Chen et al., 2018). La FD se clasifica como fibra dietética soluble (FDS) o fibra dietética insoluble (FDI) dependiendo de su solubilidad en agua. La FDS incluye pectina, goma guar y fructooligosacáridos, mientras que la FDI está compuesta de celulosa, hemicelulosa y lignina.

La FDS es una fracción crítica de la FD ya que tiene mayores funciones fisiológicas y propiedades fisicoquímicas. En general, existen varios productos de la FD que en su mayoría se derivan de subproductos agrícolas. La agricultura desempeña una función central como eje económico y social en casi todos los países en vías de desarrollo. La actividad agroindustrial de estos productos genera una gran cantidad de residuos, de aproximadamente 90 % del peso total del producto cosechado. De acuerdo con Gartzia (2008), actualmente los recursos más usados como fuentes de FD en

tecnología de alimentos son los cereales y existe una clara tendencia en estudiar materias primas no utilizadas en alimentación humana como residuos y/o subproductos agroindustriales como fuentes nuevas para la obtención de FD.

Como lo menciona Maphosa y Jideani (2016), los métodos de extracción de FD más comunes son: procesamiento en seco, procesamiento en húmedo, químico, gravimétrico, enzimáticos, físicos, microbianos o una combinación de ellos.

De acuerdo con Gerschenson et al. (2019), los métodos de modificación de la FD incluyen métodos químicos (principalmente el método ácido alcalino), métodos biotecnológicos (principalmente método enzimático) y métodos físicos (como tecnología de alta presión, tecnología de extrusión y tecnología de pulverización ultrafina).

#### Marco Contextual

De acuerdo con Casas y Barrera (2021), los residuos agroindustriales son generados por las diferentes industrias alimentarias y agrícolas y de forma general no son de interés en el proceso que los genera. En los últimos años diversos problemas ambientales se han ligado a su generación, por lo que hay un creciente interés en implementar procesos que permitan un uso eficiente e integral de los residuos. Estos pueden ser utilizados para la recuperación y producción de un amplio rango de productos de alto valor agregado, por medio de técnicas biotecnológicas.

En la agroindustria mexicana los productos que se industrializan son: frutas, hortalizas, tubérculos y vainas, semillas, raíces, hojas; algunos comercializados en fresco y otros son transformados en harinas, aceites, néctares, jugos, vinos, mermeladas, ensaladas, concentrados en polvo, entre otros, por lo que es notable la generación de residuos, desde la cosecha misma, pasando por los centros de concentración y distribución y finalizando en la industrialización, comercialización y consumo. (Mejías et al., 2016). Y a continuación se mencionan algunas de las agroindustrias que más generan residuos

1. En lo agrícola, es decir, en la cosecha de cultivos se generan como residuos primarios hojas y tallos del maíz, tallos y vaina de sorgo, puntas y hojas de caña de azúcar, paja de trigo, paja

de cebada y de frijol, así como cáscara de algodón. De la postcosecha se generan residuos secundarios obtenidos del procesamiento entre los que están: bagazo de caña de azúcar, mazorcas y olotes, bagazo de maguey o agave, así como pulpa de café.

2. La agroindustria azucarera durante la producción de azúcar genera residuos de cosecha, coproductos y subproductos tales como bagazos, cachazas, melazas, vinazas, sacarosa y aguas residuales. En este sentido, para la elaboración de productos como néctares, zumos y mermeladas únicamente se utiliza la pulpa y se desecha aproximadamente el 50 % del cultivo.
3. En el caso del café y cacao sólo se aprovecha económicamente el grano que corresponde alrededor de un 10 % del peso del fruto.
4. Las industrias de producción vegetal generan una elevada cantidad de residuos como tallos, hojas o frutos con calidad no comercial como resultado de las operaciones de poda, corte, clasificación y renovación de cultivos durante la cosecha y postcosecha.
5. La industria del aceite de palma solo aprovecha el 9 % de la extracción.
6. La industria de la cerveza utiliza un 8 % de los componentes del grano.

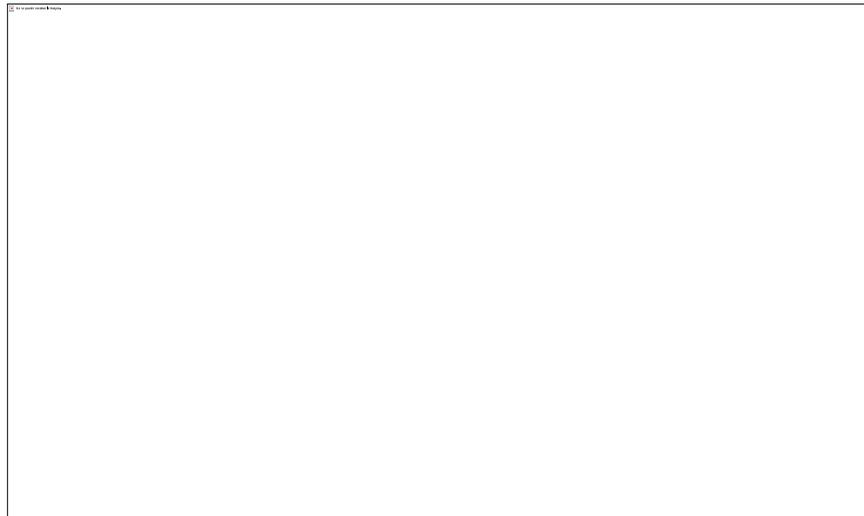


Figura 1: Cáscara de naranja como principal residuo

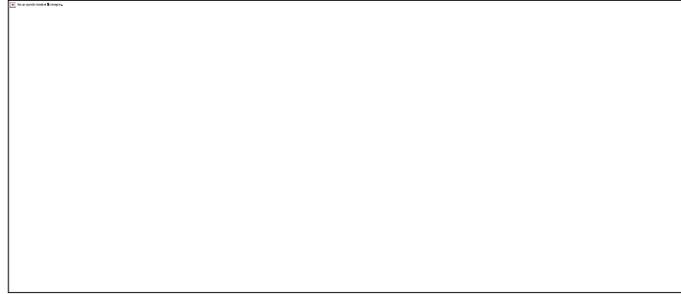


Figura 2: Fracciones de cáscar y semillas de tomate

Diferentes estrategias biotecnológicas pueden ser utilizados para la producción y extracción de moléculas de alto valor agregado a partir de los residuos agroindustriales. Estos residuos pueden ser utilizados directamente, después de pretratamientos o extracciones. A partir de los residuos agroindustriales es posible producir biocombustibles, enzimas, compuestos antioxidantes, pigmentos, carotenoides, fibra dietética, nutraceuticos, aceites esenciales, proteínas entre otros.

#### Justificación

Actualmente el consumo insuficiente de FD se asocia con la aparición de enfermedades crónicas como diabetes, hipertensión y cáncer de colon. Por este motivo, el comité de expertos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), recomiendan una ingesta de 25 gramos de FD al día. De acuerdo con la Secretaría de Salud (SSA) en México, los adultos consumen entre 16 y 18 gramos de fibra al día, una cantidad mucho menor a la recomendada, de ahí la importancia de informar la función de los tipos de fibras y promover el consumo de la FDS ya que se ha demostrado que ésta posee más beneficios al cuerpo y se puede obtener por métodos que modifican la FDI la cual es la que más abunda en la naturaleza y está contenida en residuos agroindustriales.

Con la finalidad de buscar fuentes alternas de FD y la necesidad de incrementar su consumo debido a que la población consume poca fibra, se decidió investigar algunos métodos que puedan modificar la fibra de residuos agroindustriales y que posteriormente pueda ser utilizada en algún alimento como ingrediente o aditivo y así aprovechar los beneficios que estos puedan brindar al consumidor final.

#### Objetivos

### Objetivo General

1. Dar a conocer los métodos que se han empleado para obtener fibra soluble a partir de fibra insoluble de desechos agroindustriales, propiedades fisiológicas y aplicación en alimentos

### Objetivos específicos

1. Investigar los métodos empleados para obtener fibra soluble a partir de fibra insoluble de desechos agroindustriales.
2. Describir las propiedades fisiológicas de las fibras
3. Clasificar los métodos de cuantificación de fibra soluble e insoluble
4. Informar las aplicaciones de la fibra soluble en alimentos

### Planteamiento del problema

Como se mencionó el consumo de fibra en México es deficiente apenas de 16 a 18 gramos al día, menor al que recomienda la Secretaría de Salud que es de 25 gramos/día (SSA, 2016) y esto genera en la población problemas de salud como el inadecuado funcionamiento del intestino, pero también se ha demostrado que un consumo adecuado de fibra puede prevenir enfermedades como la diabetes, enfermedades cardíacas y algunos tipos de cáncer.

Se ha mencionado que actualmente la gran cantidad de residuos que generan las agroindustrias representa aproximadamente el 90 % del peso del producto cosechado, que a su vez no son aprovechados ya que contienen una gran cantidad de fibra insoluble porque provienen de frutas y hortalizas.

### Antecedentes

Bo et al. (2019), investigaron el efecto del tratamiento de explosión de vapor sobre la FD, las proteínas y las propiedades fisicoquímicas de okara. Los resultados mostraron que la okara no tratada contenía un 73.38% de FDT y un 18.10% de proteína, pero el contenido de FDS era solo del 1.34%. Después del tratamiento con explosión de vapor el contenido de FDS aumentó significativamente. Cuando la okara fue tratada en condiciones de 1.5 MPa durante 30 segundos el contenido de FDS aumentó al 36.28%, 26 veces más alto en comparación con la okara sin control.

Este estudio sugirió que el tratamiento de explosión de vapor es un método efectivo para mejorar el contenido de FDS y la calidad de okara, a fin de expandir su desarrollo y utilización.

Huang et al. (2015), obtuvieron cambios favorables en las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas de la FDS de residuos de soya usando un método enzimático, químico y físico. El rendimiento de la modificación de FDS con tratamiento químico (57.16%) fue significativamente mayor que el tratamiento físico (16.54%) con las dos variantes (homogenización una vez=16.54% o dos veces=42.02%) en combinación con el tratamiento enzimático (celulasa). Todos los tratamientos mejoraron la capacidad de hinchamiento de la FDS y promovieron la capacidad de absorción de ácidos biliares y colesterol, pero los tratamientos enzimáticos y químicos disminuyeron el poder reductor total de la FDS, excepto el tratamiento homogenización y celulasa. Por lo tanto, este tratamiento puede ser el método apropiado para mejorar la proporción de FDS y mejorar la funcionalidad de los residuos de soya.

Xinhong et al. (2018), investigaron los efectos que su tratamiento previo con explosión de vapor tuvo sobre el rendimiento y la funcionalidad de la FDS de la pulpa de manzana. Tras aplicar este tratamiento en condiciones óptimas, el rendimiento de la pulpa sometida fue de 29.85% en comparación con la pulpa sin tratar (6.27%). Por otra parte, la FDS tratada presentó valores de funcionalidad mas elevados; la capacidad de retención de agua incrementó de 7.24 a 11.51 g/g, la capacidad de retención de aceite incrementó de 2.55 a 4.25 g/g y la capacidad de hinchamiento incrementó de 3.57 a 5.66 g/g.

Guoyong et al. (2018), usaron la fibra insoluble extraída del orujo de zanahoria que fue modificada por método enzimático, trituración ultrafina y alta presión hidrostática y sus propiedades estructurales, fisicoquímicas y funcionales fueron elevadas. Los investigadores mostraron que el método enzimático aumentó en gran medida el contenido de FDS (15.07%) y la capacidad de adsorción de colesterol alcanzó su punto máximo. La trituración ultrafina mejoró en la actividad antioxidante total, mientras que la alta presión hidrostática condujo a un aumento significativo en la capacidad de retención de agua (7.14 g/g, 600 MPa), capacidad de hinchamiento (10.02ml/g, 500 MPa), retención de aceite (2.35 g/g MPa), y adsorción de glucosa (2.634 mmol/g, 400 MPa). En general los tres métodos de modificación han mostrado mejoras y los autores concluyen que la FDS se puede aplicar como ingrediente funcional en diversos productos alimenticios.

Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, se abordaron aspectos como el alcance y los límites del estudio. La metodología de investigación usada fue exploratoria, la cual se desarrolló de forma inicial con la búsqueda de conceptos, definiciones, métodos y artículos en bases de datos científicas como Science Direct y Google académico. Posteriormente se leyó, analizó y resumió la literatura obtenida y finalmente se redactó la información más importante.

#### Definición y clasificación de la fibra dietética

Existen muchas definiciones de FD en todo el mundo, algunas basadas en métodos analíticos y otras basadas en sus propiedades fisiológicas de la fibra (Slavin, 2003). La definición más consistente y aceptada proviene de Trowell (Trowell, 1974): "La fibra dietética es la suma de ligninas y polisacáridos vegetales resistentes a la hidrólisis por las enzimas digestivas del hombre (resistente a la digestión por el ácido y las enzimas del tracto gastrointestinal humano)". Aunque no es lo ideal, la Asociación Americana de Químicos de Cereales (American Association of Cereal Chemist (AACC) ofrece una definición más específica y equilibrada que intenta satisfacer a la industria, al gobierno y al mundo académico por igual. La AACC define fibra como "las partes comestibles de las plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y la absorción en el intestino delgado humano, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La FD incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias vegetales asociadas. La FD promueve efectos fisiológicos beneficiosos, como la laxación y/o la atenuación del colesterol en sangre" (AACC, 2003).

Actualmente, el Comité del Codex Alimentarius sobre Alimentos para Regímenes Especiales propuso cambios importantes a la definición aceptada de FD para eliminar descriptores de "propiedades" y "efectos fisiológicos" que se asemejan a la declaración médica.

Según una definición recientemente propuesta, "FD significa polímeros de carbohidratos con 10 o más unidades monoméricas, que no son hidrolizados por las enzimas endógenas en el intestino delgado de los seres humanos y pertenecen a las siguientes categorías:

1. Polímeros de carbohidratos comestibles que se encuentran naturalmente en los alimentos tal como se consumen.

2. Polímeros de carbohidratos, que se han obtenido a partir de materias primas alimentarias por medios físicos, enzimáticos o químicos y que han demostrado tener un efecto fisiológico beneficioso para la salud, demostrado por pruebas científicas generalmente aceptadas por las autoridades competentes.
3. Polímeros de carbohidratos sintéticos que han demostrado tener un efecto fisiológico beneficioso para la salud, según las pruebas científicas generalmente aceptadas por las autoridades competentes".

Además, en julio de 2016, la FDA propuso una nueva definición de FD, que tiene un impacto en la declaración de fibra en la etiqueta de información nutricional. El cumplimiento de la norma final es en julio de 2019 (FDA, 2016). La definición de la FDA se basa en la definición del Instituto de Medicina e incluye tanto la "FD" como la "fibra funcional", que se considera que tiene efectos beneficiosos para la salud. La definición incluye (FDA, 2016):

1. Carbohidratos solubles e insolubles no digeribles (con tres o más unidades monoméricas) y lignina que son intrínsecas e intactas en las plantas
2. Carbohidratos no digeribles aislados y sintéticos (con tres o más unidades monoméricas) que demuestran que tales carbohidratos tienen un efecto fisiológico beneficioso para la salud humana.
3. carbohidratos no digeribles aislados y sintéticos (con tres o más unidades monoméricas) que son objeto de una declaración de propiedades saludables autorizada.

Las FD están presentes de forma natural en una variedad de cereales, legumbres, frutas y hortalizas así como en algunos animales marinos (Kranz *et al.*, 2005).

En función de la solubilidad intestinal (fermentabilidad), las fibras alimentarias también se clasifican en insolubles y solubles (Rodríguez *et al.*, 2005) (Grigelmo y Belloso, 1999). La FDS se disuelve parcialmente en agua. Se somete a un proceso metabólico a través de la fermentación, dando lugar a productos finales con importantes efectos sobre la salud, como la modulación de la glucosa y los lípidos en sangre, así como la mejora del entorno del colon y la regulación de las respuestas inmunitarias.

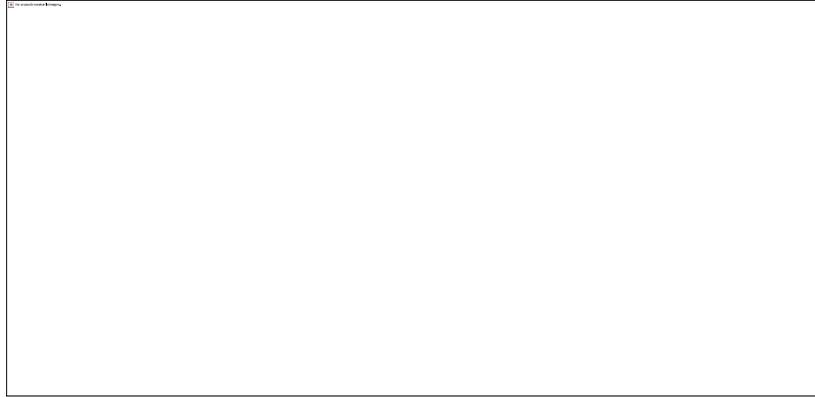


Figura 3: Principales alimentos que contienen FDS y FDI

Como la solubilidad se refiere simplemente a las fibras que están parcialmente disueltas (dispersables) en agua, el término "solubilidad" es inexacto y a menudo confuso para describir la funcionalidad de la fibra. En este caso, la solubilidad se refiere a la formación de un material similar a un gel. Originalmente se pensó que esta caracterización podría proporcionar una forma sencilla de predecir la función fisiológica, pero no siempre es así (Gallanger y Schneeman, 2001).

Las FDI o poco solubles 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. Es la base para utilizar la FDI en el tratamiento y prevención de la constipación crónica. Por otra parte, también contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de potenciales carcinogénicos con la mucosa del colon (Kin, 2000).

Sin embargo, la relación FDS/FDI es importante tanto para la salud como para las propiedades tecnológicas. En general, se acepta que las fuentes de fibra adecuadas para su uso como ingrediente alimentario deben tener una relación FDS/FDI cercana a 1:2. (Borchani *et al.*, 2012), (Jaime *et al.*, 2002).

La FDS está compuesta por mucílagos, gomas, pectina y hemicelulosa. En cambio, la FDI no se disuelve en el agua, ésta atrae pasivamente el agua y ayuda a aumentar el volumen, ablandar las heces y acortar el tiempo de tránsito por el tracto intestinal. Está compuesta por celulosa, lignina, una fracción mayor de hemicelulosa y celulosa modificada. (Saézn, 1997).

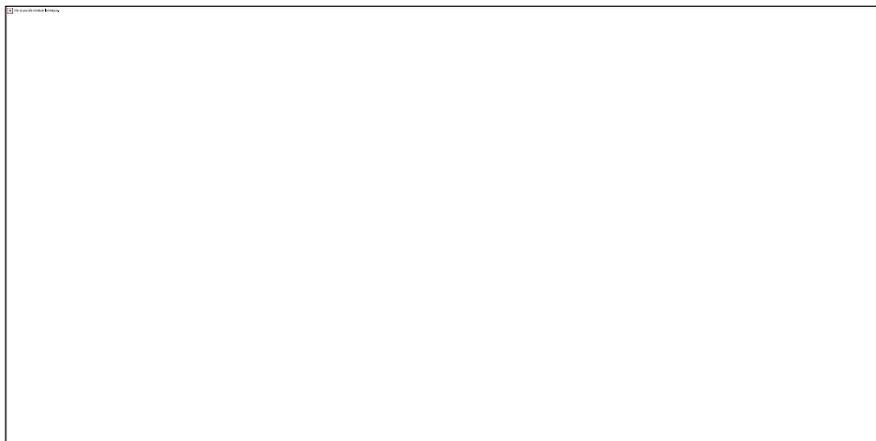


Figura 4: Clasificación de la fibra en función de la solubilidad

Las fibras derivadas de frutas y hortalizas tienen una proporción considerablemente mayor de FDS, mientras que las fibras de cereales contienen más celulosa insoluble y hemicelulosa (Figuerola *et al.*, 2005)

Las FD procedentes de los cereales son las más utilizadas en las aplicaciones alimentarias. Sin embargo, la fibra de las frutas tiene mejores propiedades tecnológicas y relacionadas con la salud que la fibra de los cereales, debido a su mayor contenido en fibra total y soluble, a su mayor capacidad de retención de agua y aceite y a su fermentabilidad colónica, así como a su menor contenido en ácido fítico y valor calórico.

La definición de FD también incluye las fibras de origen animal, como el quitosano que se deriva de la quitina. Este tipo de fibra está presente en los exoesqueletos de crustáceos y calamares, y tiene una estructura molecular similar a la de la celulosa vegetal (Borderías, Sánchez y Pérez, 2005).

Actualmente existe una gran variedad de materias primas, principalmente subproductos de la transformación, a partir de las cuales se obtienen polvos de fibra dietética comerciales (Fermenta, 1997). Las principales características de los productos comercializados son (Larrauri, 1999):

1. Contenido total de fibra dietética superior al 50%
2. Humedad inferior al 9%
3. Bajo contenido en lípidos
4. Un bajo valor calórico y un sabor y aroma neutros

Según Larrauri (1999), la "FD ideal" no debe tener componentes nutricionalmente objetables; debe estar lo más concentrada posible; debe tener un sabor, color y olor suave; así como una composición equilibrada y una cantidad adecuada de compuestos bioactivos asociados; además una larga vida útil; ser compatible con el procesamiento de alimentos; y tener los efectos fisiológicos esperados. Cabe destacar que el enriquecimiento de la fibra no sólo influye en la calidad total del alimento al modificar sus propiedades fisiológicas, sino que también afecta significativamente a las propiedades sensoriales del producto final (Figuerola *et al.*, 2005).

#### Funcionalidad tecnológica de la fibra dietética

Los componentes de la FD, aislados de las plantas nativas, proporcionan muchas propiedades funcionales que afectan a los atributos tecnológicos de los alimentos. Estas propiedades funcionales también influyen en el comportamiento del producto alimenticio durante su procesamiento, así como en su calidad y características finales (Tungland y Meyer, 2002). Una de las propiedades tecnológicas más importantes de la FD es la de retener agua (Borderías, Sánchez y Pérez, 2005). La capacidad de retención de agua (CRA) depende de la fuente de fibra. Las FDS, como las pectinas y las gomas, poseen una mayor CRA que la fibra celulósica, mientras que la naturaleza hidrofóbica de la lignina reduce la capacidad de retención de agua (Wisker *et al.*, 1985). Las fibras en polvo que son fundamentalmente celulósicas, como las cáscaras de los cereales, atrapan varias veces su peso en agua (Blenford, 1992). Algunos investigadores (Auffre *et al.*, 1994) y (Cadden, 1987) informaron que las propiedades de hidratación de la FD se ven reforzadas por la molienda, que aumenta su afinidad para atrapar el agua dentro de la matriz de la fibra. Kurek *et al.* (2015), informaron que la mayor CRA se conseguía con el tamaño de partícula más pequeño de la fibra de avena y con las partículas de mayor tamaño de la fibra de remolacha. Las propiedades de hidratación de la FD son fundamentales para determinar los niveles óptimos de uso en los alimentos para conservar una textura alimentaria deseable (Raghavendra *et al.*, 2006). Factores como el pH, la fuerza iónica, la concentración de los componentes de la fibra y la presencia de otros ingredientes aglutinantes de agua (por ejemplo, azúcar y/o almidones) también pueden influir en la capacidad de unión del agua a la fibra y, posteriormente, en las características finales del sistema alimentario formulado (Tungland y Meyer, 2002)

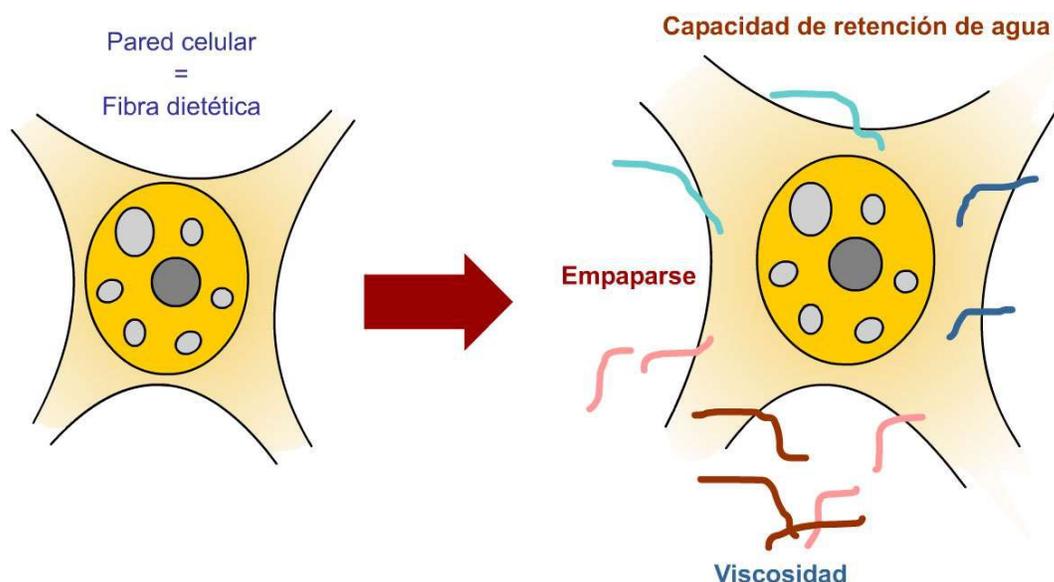


Figura 5: Capacidad de retención de agua y viscosidad, propiedades de las fibras

Muchas fibras alimentarias son dispersables tanto en agua como en aceite, mientras que algunas fibras también tienen la capacidad de unirse sólo al aceite. La unión al aceite es una función de la porosidad de la fibra más que de la afinidad de las moléculas de la fibra por las gotas de aceite. Esta característica de la fibra también está influida por la composición química de la misma (Tungland y Meyer, 2002). Por esta razón, para evitar la absorción de grasa, es aconsejable colocar la fibra en agua primero, para que el agua llene los poros e impida la entrada de las gotas de grasa. Al incorporar FD a un rebozado, se puede reducir la absorción excesiva de grasas fritas (Borderías, Sánchez y Pérez, 2005). Por ejemplo, la goma guar, la pectina y la inulina, cuando se añaden al queso durante el procesamiento, reducen el contenido de grasa sin perder las características organolépticas, como la textura y el sabor (Rodríguez *et al.*, 2005) (Mensink *et al.*, 2015).

Las fibras también se añaden a los productos cárnicos para aumentar el rendimiento de la cocción debido a su propiedad de retención de agua y grasa (Raghavendra *et al.*, 2006). Cuando se añaden a la carne, las fibras evitan una pérdida significativa de grasa y agua durante la cocción lo que ayuda a mejorar la textura de los productos alimentarios. Pszczola (1991), informó que la adición de un ingrediente de salvado de avena mezclado en salchichas de carne picada de res y de cerdo resultó en un aumento del rendimiento de la cocción.

La viscosidad es otra propiedad tecnológica importante de las fibras que proporciona características reológicas a los sistemas alimentarios (Tungland y Meyer, 2002). La viscosidad de la fracción de FDS es más importante que la cantidad de FDS en los alimentos. La FDS se vuelve viscosa cuando se mezcla con agua (Gorinstein *et al.*, 2001). Las fibras, como la pectina, las gomas  $\beta$ -glucanos extraídos de las algas, forman soluciones altamente viscosas (Borderías, Sánchez y Pérez, 2005).

Las gomas se utilizan como agentes espesantes en los alimentos a bajas concentraciones. Sin embargo, las fibras altamente solubles que están compuestas por polímeros muy ramificados o de cadena relativamente corta, como la goma arábica, los arabinogalactanos aislados, la inulina y los oligosacáridos, tienen bajas viscosidades. 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 de los sistemas alimentarios y mejorar los atributos saludables de los productos alimentarios funcionales (Tungland y Meyer, 2002). En las galletas, la sustitución de la harina por salvado y celulosa dará una textura más firme. En pasteles y galletas, la sustitución de parte de la harina por fibras (fruta, remolacha, salvado de trigo, celulosa o cáscara de patata) aumentará la firmeza y preservará la textura durante el almacenamiento (Arora & Camire, 1994). En el caso de las bebidas, la adición de FD aumenta la viscosidad, lo que se traduce en una mayor estabilidad (Rodríguez *et al.*, 2005).

La FD también se utiliza en las formulaciones por su capacidad de formar geles, debido principalmente a los componentes de FDS como la pectina, las gomas y los mucílagos (Saéñz, 1997). Un gel se refiere a una asociación de unidades poliméricas que forman una red en la que se incluye agua y/o otros solutos (Borderías, Sánchez y Pérez, 2005). La formación de un gel depende del tipo de goma, su concentración, la temperatura, la presencia de iones (por ejemplo, calcio), el pH y la presencia de otros modificadores reológicos en el sistema alimentario (Tungland y Meyer, 2002), (Peerajit, Chiewchan y Devahastin, 2012). Los carragenatos son un buen ejemplo de fibra formadora de gel, con capacidad espesante, clarificadora, estabilizadora y emulsionante también. Los carragenatos se utilizan comúnmente en productos helados para evitar la formación de cristales de hielo, en la leche con chocolate para estabilizar y mejorar la viscosidad y en geles de postres para mejorar el espesor, el sabor y la sensación en la boca.

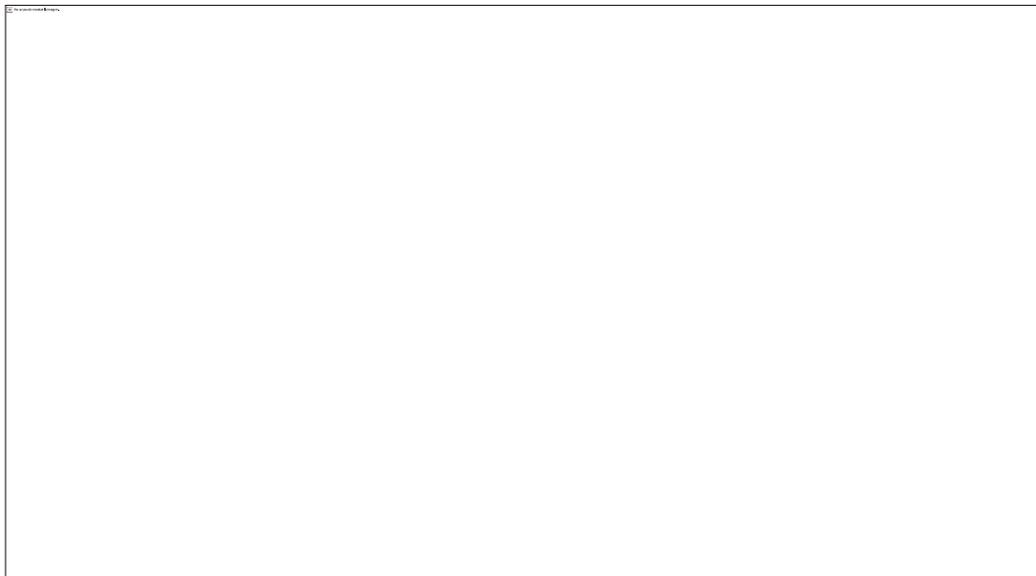


Figura 6: Aplicaciones de la propiedad formadora de geles, especialmente en postres y confitería

Muchos tipos de fibras poseen propiedades de unión de iones. Los carragenatos, que existen como una mezcla de galactanos relacionados, que contienen grupos semiester de sulfato unidos a unidades de azúcar, forman un gel estable a temperatura ambiente en un amplio rango de pH debido a los grupos semiester ionizados. La exposición a altas temperaturas hace que los carragenatos existan como un polímero enrollado al azar. Cuando se enfría, el polímero enrollado se transforma en dobles hélices de cadenas paralelas, formando pequeños racimos solubles. Un mayor enfriamiento provoca la confluencia de las dobles hélices y la formación de zonas de unión que atraen a los cationes. El potasio y el calcio se localizan en las zonas de unión e interactúan con la carragenina mediante fuerzas electrostáticas para formar un gel. Los cationes de potasio, por ejemplo, forman un gel muy estable con la k-carragenina (que tiene un grupo cargado negativamente), mientras que el catión de calcio proporciona estabilidad a la i-carragenina (que tiene dos grupos cargados negativamente).

Los iones de calcio también forman una red de puentes entre dos grupos de semiésteres de sulfato adyacentes con su carga divalente para reforzar la unión. Otras fibras alimentarias tienen capacidad para unir también cationes como el cadmio, el hierro, zinc y cobre. Uno de los beneficios de estas fibras es la unión a iones prooxidantes que participan en la catálisis de las reacciones de oxidación

de los lípidos (Borderías, Sánchez y Pérez, 2005). También se ha informado que algunas FD absorben moléculas orgánicas que incluyen el salvado de trigo, que se asocia con los ácidos biliares y también interactúa con los carcinógenos potenciales como los benzopirenos. (Cho, DeVries y Prosky, 1997).

#### Beneficios para la salud de la fibra dietética

La FD ha sido el centro de atención de muchos estudios debido a su capacidad para mejorar la salud humana. Algunos de los beneficios más representativos atribuidos a la FD incluyen los siguientes (Slavin, 2013):

1. Una ingesta óptima de fibra (14g/1000kcal) puede disminuir los niveles de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares.
2. Se ha demostrado que el consumo de 15g de fibra/día reduce significativamente el riesgo de diabetes II y atenúa la tasa de absorción de glucosa, reduciendo así el aumento de peso.
3. La laxitud y la regularidad son atributos ampliamente asociados con la ingesta óptima de fibra y están estrechamente relacionados con el manejo óptimo del peso corporal (Kelsay, Behall y Prather, 1978).
4. El control del peso corporal está estrechamente relacionado con la ingesta de fibra, ya que promueve la saciedad debido a la mayor producción de saliva y ácido gástrico como consecuencia del aumento del tiempo de masticación (Slavin y Green, 2007).
5. Tradicionalmente se ha atribuido una menor prevalencia del cáncer colorrectal a las dietas con mayor consumo de fibra. Sin embargo, todavía no hay pruebas causales claras y es necesario realizar más estudios para corroborarlo.
6. Los efectos prebióticos atribuidos a las fibras fermentables (principalmente polisacáridos y oligosacáridos) pueden aportar una serie de beneficios para la salud al alterar la composición de la flora intestinal.
7. Se ha informado ampliamente de la capacidad antioxidante de las FD. De hecho, la actividad antioxidante que se atribuye a la fibra dietética proviene probablemente de los ácidos fenólicos, los fenilpropanoides y los flavonoides, que en los alimentos suelen estar

glicosilados con diferentes azúcares, especialmente glucosa u otros polisacáridos (Shahidi, 2000).

Gran parte de la fibra que ingerimos cuando consumimos fruta proviene de las paredes de las células del parénquima (Grierson, 2001). Las paredes de las células vegetales contienen, cuando están completamente formadas, una colección de polisacáridos solubles complejos, que incluyen principalmente polisacáridos pécticos, mientras que los xiloglucanos y la celulosa se destacan entre la fibra insoluble en agua (Dhingra, Michael, Rajput y Patil, 2012). Algunos heteroxilanos y galactoglucomananos también se pueden encontrar en cantidades más pequeñas. Todas estas fibras pueden diferir en su abundancia y estar sujetas a cambios estructurales menores entre especies, además de sufrir variaciones estructurales durante el almacenamiento y/o cocción (Smith, 2013).



Figura 7: Principales frutas consumidas en México que aportan fibra dietética

En términos de nutrición, las hortalizas tienen muchas similitudes con las frutas. Ambos son ricos en fibra, así como en vitaminas, minerales y antioxidantes. Sin embargo, las hortalizas tienen un mayor contenido de FD que las frutas, especialmente de la fracción insoluble más rica en celulosa y lignina, así como gomas y mucílagos. Los frutos presentan mayores valores de monosacáridos simples o pectinas (Dhingra *et al.*, 2012; Elleuch *et al.*, 2011). Esto puede ser relevante no solo desde un punto de vista estructural sino también desde una perspectiva nutricional. La FDS puede aumentar la

viscosidad del contenido del estómago, permitiendo así la mezcla y la absorción de nutrientes; La FDI puede reducir el tiempo de tránsito intestinal y, en consecuencia, aumentar la masa de alimentos (Olson, Gray y Chiu, 1987).



Figura 8: Hortalizas que contienen mayor contenido de FDI

Los cereales además de su contenido en proteínas y almidón juegan un papel esencial en nuestras dietas debido a su alto contenido en fibras dietéticas como arabinosilanos, arabinogalactanos,  $\beta$ -glucanos, celulosa, lignina y otros micronutrientes menores como ácidos fenólicos, flavonoides, carotenoides, vitaminas. y fitoesteroles (Makowski, Rosicka-Kaczmarek y Nebesny, 2015).

Con el fin de realizar una primera clasificación de los principales tipos de FD presentes en granos y cereales, el trigo, la cebada, la avena y el maíz aportan aproximadamente el 50% de la ingesta de FD en los países occidentales. (Belderok, 2000; Lambo *et al.*, 2005). La cantidad de FD en los cereales integrales varía desde el 12% en la avena hasta el 27% en la cebada, con una proporción mucho mayor de FDI que FDS (7-9:1) (Vitaglione, Napolitano y Fogliano, 2008) constituida principalmente por glucanos como  $\beta$ -glucanos, arabinosilanos (AX), xilooligosacáridos (XOS) y menores contenidos de pectinas (Vitaglione *et al.*, 2008).

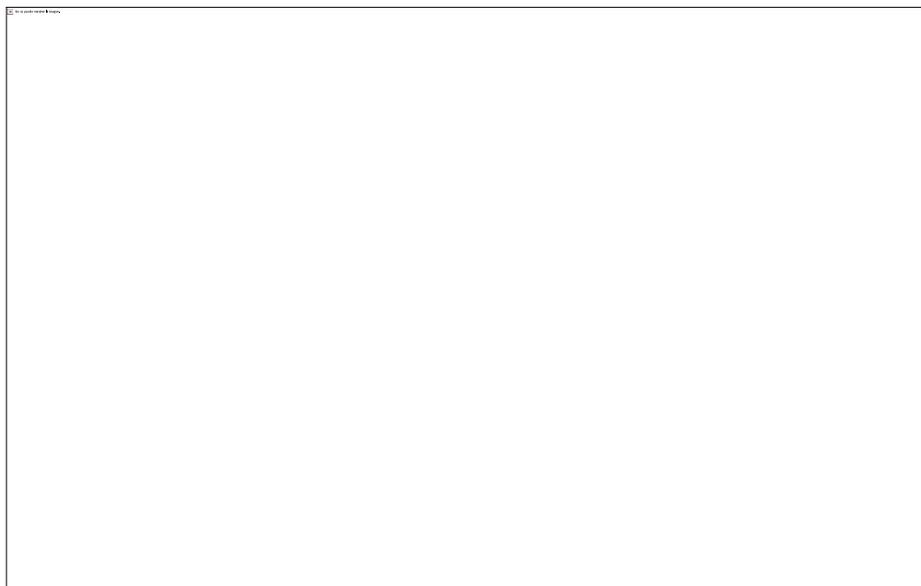


Figura 9: Principales cereales que aportan grandes cantidades de fibra

#### Mecanismos de acción de las fibras dietéticas

La FD es ampliamente aceptada como una parte importante de la dieta y un componente común de una nutrición saludable. Muchos estudios epidemiológicos y clínicos indican que la FD puede ejercer una amplia gama de beneficios para la salud, como disminuir la presión arterial, reducir el colesterol plasmático y disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, que principalmente resulta del control de peso y un menor riesgo de obesidad. El sobrepeso y la obesidad se han convertido en problemas de salud mundiales muy graves, que combinan el riesgo de numerosas enfermedades y trastornos clínicos, como diabetes mellitus tipo 2, hipertensión, enfermedades coronarias y cerebrovasculares, diversos tipos de cáncer, enfermedades hepáticas y asma. Se ha informado que el riesgo de las enfermedades mencionadas anteriormente y la mortalidad es mayor para las personas con un índice de masa corporal (IMC) superior a 25 kg / m<sup>2</sup>, que es el límite para la obesidad (Hasbay et al., 2020)

Hasta ahora, está bien documentado que las dietas ricas en FD desempeñan un papel clave en la regulación del peso corporal y en la reducción del riesgo de enfermedades relacionadas como la

obesidad y la diabetes. Esto se debe principalmente a los efectos beneficiosos de las FD, como una mayor saciedad y una menor ingesta de energía (Solah et al., 2014)

Los consumidores buscan estrategias de pérdida de peso efectivas, naturales y no tóxicas para obtener resultados más prometedores, se sugiere la adición de fibra funcional a las dietas para bajar de peso como una herramienta para mejorar el éxito.

La regulación del peso corporal y de la masa grasa tiene lugar con el efecto de varios factores, que involucran circuitos nerviosos centrales, estímulos sensoriales periféricos, señales de saciedad mecánicas y químicas que surgen en el tracto gastrointestinal y señales de adiposidad del tejido graso y del hígado. Se ha demostrado que la FD modula el peso corporal principalmente mediante varios mecanismos, como:

1. El aumento de la saciación y la saciedad
2. La reducción de la ingesta de energía debido a que no es digerible y disminuye la cantidad de energía absorbida de los alimentos ingeridos.
3. Aumento de la excreción de ácidos biliares, que impulsa un flujo metabólico en la producción hepática de bilis y una movilización de las reservas de grasa corporal
4. Actúa como un sustrato que altera favorablemente la microbiota intestinal, lo que altera el almacenamiento y el gasto de energía

La saciación y la saciedad están relacionadas con el control del apetito y la inhibición de la alimentación. La saciación es la satisfacción del apetito durante la comida, que lo pone fin. La saciedad es la inhibición del hambre después de terminar de comer y evita que se siga comiendo antes del regreso del hambre. El sistema del apetito humano tiene mecanismos centrales y periféricos que interactúan con factores ambientales, incluida la composición de nutrientes de los alimentos, el estómago indica saciedad en respuesta al volumen y las calorías de la comida ingerida. Los alimentos con diferente composición de nutrientes ejercen diferentes efectos fisiológicos, incluidas las señales de saciedad. Se ha demostrado que las FD proporcionan una mayor saciedad que los polisacáridos digeribles y los azúcares simples, así como nutrientes como las proteínas solas. Por lo tanto, los alimentos ricos en fibra tienen efectos bien documentados sobre la saciedad, que se debe principalmente a sus propiedades de textura y volumen.

### Incremento de la masticación

Los alimentos con FD son más difíciles de procesar en la boca ya que tienen texturas más densas y compactas. En consecuencia, los alimentos ricos en fibra generalmente requieren una mayor masticación en términos de esfuerzo y/o tiempo, lo que estimula la secreción de saliva e induce señales y respuestas de fase cefálica y reduce la tasa de ingestión. Cuando el producto permanece más tiempo en la boca, la oportunidad para que los receptores sensoriales de la cavidad oral capturen el sabor, el olor, la textura y otras propiedades aumenta, lo que conduce a una mayor sensación de saciedad y una reducción en el tamaño de la comida.

### Distensión Gástrica

El volumen de alimento percibido puede influir en la saciedad independientemente de su densidad energética. Se puede aprovechar el aire y el agua para aumentar el tamaño de las porciones percibidas sin aumentar el contenido energético, contribuyendo al mismo tiempo a las características sensoriales y de otro tipo (Fizman y Varela, 2013).

Debido a que las FD viscosas absorben grandes cantidades de agua y forman geles, pueden aumentar la distensión del estómago, lo que se sugiere que desencadena señales vagas aferentes de llenado y, en consecuencia, aumenta la saciedad durante las comidas y la saciación en el período posterior a las comidas. Además, el aumento de la masticación de alimentos ricos en fibra puede promover la distensión gástrica a través del aumento de la producción de saliva y ácido gástrico. La adición de gomas, por ejemplo, podría contribuir a la distensión gástrica al aumentar el volumen de alimentos ya que absorben grandes cantidades de agua (Fizman y Varela, 2013).

### Hormonas gastrointestinales

Algunas hormonas y péptidos producidos central y periféricamente y que operan son secretados principalmente por el intestino en respuesta a diferentes nutrientes y se han implicado en la regulación de la ingesta de alimentos a corto plazo. Estas señales humorales se denominan señales de saciedad porque están relacionadas con la terminación de las comidas. Estas hormonas que promueven la saciedad incluyen colecistoquinina (CCK), péptido 1 similar al glucagón (GPL-1), péptido YY (PYY) y grelina, que desempeñan un papel vital en la señalización del apetito proveniente del intestino al cerebro y funcionan como reguladores fisiológicos de ingesta de alimentos (Rao, 2016).

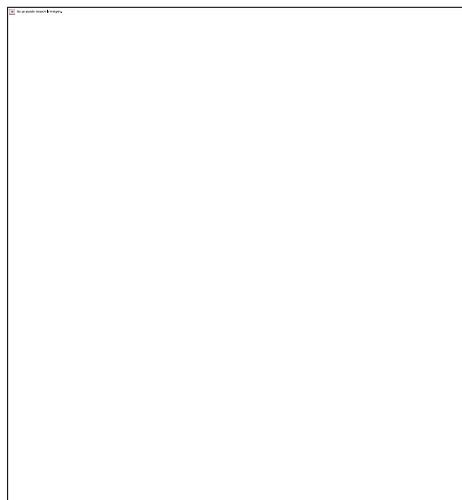


Figura 10: Colecistoquinina, hormona que promueve la saciedad

### Diabetes

La obesidad y la inactividad física pueden constituir las principales razones del creciente riesgo de diabetes en el mundo actual. Por lo tanto, la dieta es uno de los principales factores para disminuir el riesgo y para el manejo general de la diabetes. Una alta ingesta FD generalmente se enfatiza en la mayoría de las recomendaciones para disminuir el riesgo de diabetes. Además, las dietas ricas en fibra ofrecen muchos beneficios para la salud de las personas diabéticas.

Como se mencionó anteriormente, la FD inhibe la absorción de macronutrientes, reduce la respuesta de la glucosa posprandial e influye de manera beneficiosa en ciertos lípidos sanguíneos. Estos efectos se atribuyen principalmente a las propiedades viscosas y / o formadoras de gel de la FDS. (Asif, 2014).

Actualmente se recomienda una dieta baja en azúcares a base de polisacáridos complejos de cereales, hortalizas, leguminosas y frutas, y ejercicio físico diario para prevenir el desarrollo de diabetes mellitus. La FD soluble contribuye a disminuir la concentración de glucosa e insulina en el suero posprandial tanto en los individuos sanos como en los que padecen de diabetes. Entre los mecanismos que explican el efecto benéfico se encuentran:

- 1) El aumento de la viscosidad del contenido de nutrientes en el intestino delgado, lo cual retarda la difusión de la glucosa hacia el borde ciliado de la mucosa intestinal;

- 2) La unión de la glucosa a la FD y disminución de su disponibilidad para la absorción; y
- 3) Inhibición de la acción de la amilasa sobre el almidón. Todos los efectos anteriores provocan un retardo del vaciamiento gástrico que aumenta la saciedad en el individuo.

#### Cáncer

De acuerdo con Molina y Martin (2007) una ingesta alta en fibra se asocia con un menor riesgo de cáncer colorrectal. Una de las hipótesis sobre el desarrollo de cáncer de colon y recto es que a partir de las excesivas cantidades de ácidos biliares en el intestino se forman algunas sustancias cancerígenas. La fibra tendrá un efecto beneficioso importante porque reduce la secreción de ácidos biliares e incrementa su excreción en las heces. Por otra parte, la alta capacidad de retención de agua puede diluir la concentración de agentes cancerígenos y también adsorberlos en su superficie.

La fibra reduce el tiempo de contacto de las sustancias cancerígenas con las paredes del intestino. Además, el ácido butírico formado por la fermentación puede inhibir la formación de tumores, que se ve potenciada por los bajos pH que resultan de la fermentación de la fibra en el colon.

#### Enfermedades cardiovasculares

Los factores de riesgo para las enfermedades cardiovasculares son el consumo de cigarro, la edad, el sexo, la raza, la hipercolesterolemia, la inactividad física, la diabetes mellitus y la obesidad. Las FDS (particularmente pectinas y gomas) reducen el colesterol sérico, pero no cambian los triglicéridos y colesterol HDL (lipoproteínas de alta densidad por sus siglas en inglés). Los mecanismos de acción son varios: aumento del contenido gastrointestinal, que interfiere en la formación de micelas y absorción de lípidos, aumento y excreción de esteroides y ácidos biliares e inhibición de síntesis de colesterol hepático, debido a la absorción del ácido propiónico formado en la fermentación (Molina y Martín, 2007).

#### Métodos oficiales para analizar la fibra alimentaria

Los métodos clásicos para analizar la FD en los alimentos antes del cambio en la definición de este concepto en 2008 fueron los AOAC 985.29 y 991.43. Ambos métodos oficiales solo son capaces de cuantificar la FD de alto peso molecular (HMWDF), expresada como fibra dietética total en el caso de AOAC 985.29 o distinguiendo entre FDS e FDI para estimar la fibra dietética total en la metodología propuesta por la AOAC 991.43 (Macagnan *et al.*, 2016). La nueva definición de fibra

propuesta por la Comisión del Codex Alimentarius en 2008 incluía carbohidratos adicionales (es decir, almidón resistente, por sus siglas en inglés (RS) y abrió la posibilidad para incluir oligosacáridos de bajo peso molecular o FD de bajo peso molecular (LMWDF) como inulina, fructooligosacáridos, galactooligosacáridos y polidextrosa (Westenbrink, Brunt y van der Kamp, 2013). Siguiendo esta actualización en la definición de fibra, los métodos clásicos AOAC 985.29 y 991.43 subestiman el contenido de FD de los alimentos y, por lo tanto, el valor energético de los productos alimenticios elaborados o que contienen altos niveles de almidón y LMWDF, lo que induce errores en las etiquetas de los alimentos y en las tablas de composición (Macagnan *et al.*, 2016). Además, la inclusión de RS como FD representa un problema analítico ya que los métodos clásicos solo son capaces de cuantificar el almidón retrogradado o RS3, descuidando el RS1 (almidón físicamente inaccesible), RS2 (gránulos de almidón sin gelatinizar) y RS4 (almidón químicamente modificado) (Macagnan *et al.*, 2016).

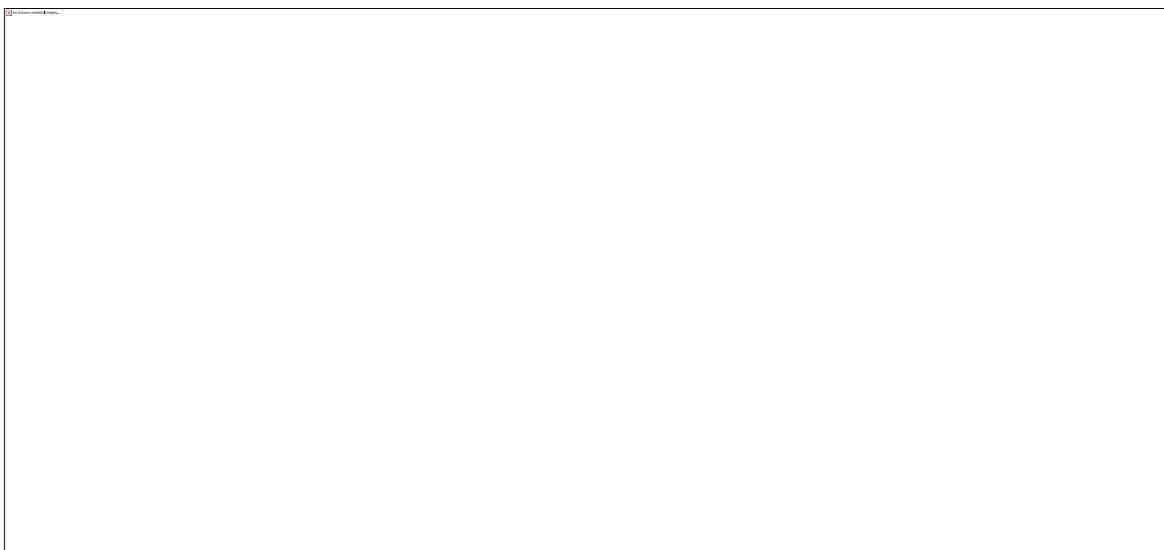


Figura 11: Métodos de análisis de fibra en alimentos

**Tabla 1.: Resumen de los métodos oficiales para analizar la FD, según lo descrito por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales y (AOAC) y los compuestos medidos por cada método**

Método AOAC	Compuestos medidos
-------------	--------------------

985.29	Fibra dietética total (alto peso molecular)
991.42	Fibra dietética insoluble en alimentos
991.43	Fibra dietética total (alto peso molecular: soluble e insoluble)
993.19	Fibra dietética soluble de alto peso molecular en los alimentos
993.21	Fibra dietética de alto peso molecular (cuando > 10% de fibra y < 2% de almidón)
994.13	Fibra dietética de alto peso molecular, aporta composición de azúcar y lignina Klason
995.16	$\beta$ -Glucano en cereales, piensos y alimentos
997.08	Fructanos y fructooligosacáridos
999.03	Fructanos y fructooligosacáridos (subestima los compuestos altamente despolimerizados)
2000.11	Polidextrosa
2001.02	Trans galactooligosacáridos
2001.03	Fibra dietética de alto y bajo peso molecular (si no hay almidón resistente)
2002.02	Almidón resistente (2 y 3)
2009.01	Fibra dietética total de alto y bajo peso molecular en todos los alimentos
2011.25	Fibra dietética soluble e insoluble de alto y bajo peso molecular en todos los alimentos

Fuente: (Adaptado de McCleary, B. V., Sloane, N., Draga, A., & Lazewska, I. (2013). Measurement of total dietary fiber using AOAC Method 2009.01 (AACC International Approved Method 32–45.01): evaluation and updates. *Cereal Chemistry*, 90, 396–414.)

Los métodos de extracción de FD más comunes incluyen procesamiento en seco, procesamiento en húmedo, químico, gravimétrico, enzimáticos, físicos y microbianos, o una combinación de estos métodos (Maphosa y Jideani, 2016).

La extracción de fibra puede ayudar a: separarla en componentes, identificar / cuantificar las fracciones de interés y eliminar los componentes no deseados. Se han investigado numerosos métodos de extracción. La base de todos los métodos de extracción de fibra es similar, pero el enfoque difiere según el producto final deseado, la aplicación, la fuente de fibra y el equipo utilizado (Maphosa y Jideani, 2016). El método de extracción puede afectar el comportamiento de las fibras en aplicaciones alimentarias y en el cuerpo humano. Adicionalmente, otros factores relacionados con el método de extracción (solvente, intensidad del tratamiento y origen de la fibra) pueden afectar las propiedades y composición de las fibras luego de la extracción (Fuentes-Alventosa *et al.*, 2009). Las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de extracción se presentan en la Tabla

2

**Tabla 2: Ventajas y desventajas de los métodos de extracción de fibra**

Método	Ventajas	Desventajas	Referencias
Procesamiento Seco	Bajo consumo de agua y energía.	Solo para plantas con almidón como almacenamiento principal.	Ramírez, Johnston, y Singh (2009)
	No se utilizan reactivos	Bajo rendimiento	
Procesamiento Húmedo			
fresado húmedo Convencional	Gran cantidad de fibra obtenida	Pérdida de tiempo	
		Altos costos	
		Residuos de SO <sub>2</sub>	Salehifar and Fadaei (2011)
Molienda húmeda alcalina	Menos agua residual producida	Pérdida de tiempo	Maphosa and Jideani (2016)
Molienda húmeda enzimática	Menos SO <sub>2</sub> producido	Residuos de SO <sub>2</sub> en el producto final	Salehifar and Fadaei (2011)
Fresado Húmedo Modificado	Productos de alta pureza	Aguas residuales	
	Bajo consumo de agua		
	Sin productos químicos		Dalgetty and Baik (2003)
Enzimático Gravimétrico	Mayor rendimiento que enzimático-químico	Se pierde algo de fibra insoluble, lignina y toda la fibra soluble	
	Rápido y fácil	Los residuos contienen material nitrogenado	Gordon and Okuma (2002)
Enzimático-químico	Más rápido y fácil que enzimático-gravimétrico	Residuos químicos en productos	
		Pérdida de tiempo	Devinder, Mona, Hradesh, and Patil (2012)

No Enzimático-gravimétrico	Productos de alta pureza	Baja selectividad	
		Condiciones de extracción difíciles	Mwaikambo (2006)
Físico	Conserva la estructura de las fibras	No Confiable	Mwaikambo (2006)
Microbiológico	Conserva la estructura de las fibras	Producción de sustancias tóxicas	
	Alta selectividad		
	Fácil		Mwaikambo (2006)

Fuente: Elaboración propia

Métodos de extracción de fibra a nivel industrial y aplicación en distintos productos

### **Procesamiento en seco**

Los métodos de procesamiento en seco se han realizado para aplicaciones industriales y de investigación. Estos métodos implican la desintegración de muestras mediante molienda y clasificación por aire en fracciones de almidón y proteína. Por lo tanto, el polvo producido durante el proceso de molienda contiene dos partículas diferentes, que difieren en tamaño y densidad. Para separar esas fases, se repite varias veces un proceso llamado "clasificación del aire" para purificar las fracciones (Muehlbauer, 2002). Wang et al., (2016) encontraron que el fraccionamiento del procesamiento en seco no afecta las propiedades funcionales del salvado de arroz desgrasado. Asimismo, Termrittikul, Jittanit y Sirisansaneeyakul (2018) utilizaron un proceso seco con alcachofa de Jerusalén (*Helianthus tuberosus* L.) para preparar una muestra para la extracción de inulina, y obtuvieron una pureza superior con este proceso que con un proceso de molienda en húmedo.

### **Procesamiento húmedo**

Los métodos de molienda en húmedo utilizan agua para la extracción de fibras, pero difieren en los reactivos y las condiciones empleadas. Existen diferentes métodos de molienda en húmedo, como

convencional, alcalino, enzimático, y molienda húmeda modificada. El proceso convencional de molienda en húmedo implica remojar las materias primas en una solución de ácido sulfúrico. Luego, los coproductos y el almidón se separan físicamente. Los procesos tradicionales de molienda en húmedo tardan hasta 36 horas en completarse.

*Molienda húmeda alcalina.* Este método consiste en remojar la materia prima en NaOH (pH 13) a 85° C. Luego, la materia prima se desmarca, se agrieta y se sumerge en NaOH a 45° C, luego se muele hasta obtener un polvo, que luego se mezcla con NaOH, se muele y se tamiza. Finalmente, se recoge el residuo (Eckhoff *et al.*, 1999).

*Molienda enzimática en húmedo.* Este proceso fue desarrollado para ayudar con los residuos (SO<sub>2</sub>) generados por la molienda húmeda convencional. Las enzimas más utilizadas son las proteasas, que solubilizan e hidrolizan la matriz de gluten (proteína);  $\alpha$ -amilasa, que gelatiniza, hidroliza y despolimeriza el almidón; y amilo-glucosidasa, que desintegra los fragmentos de almidón en glucosa. Los polisacáridos sin almidón se pueden recuperar mediante precipitación con etanol (Ramírez *et al.*, 2009).

*Fresado húmedo modificado.* Esta técnica implica el uso de agua y produce productos de alta pureza. Este método, utilizado para aplicaciones alimentarias, muele la materia prima en pequeñas partículas para aumentar la superficie. Luego, la proteína se extrae a un pH alcalino y luego se precipita con ácido. Este método separa la fibra insoluble utilizando las diferencias en las propiedades de hinchamiento de la fracción. A temperatura ambiente, la fibra tiene una mayor capacidad de hinchamiento que el almidón. Tales diferencias en la capacidad de hinchamiento dan lugar a diferentes tamaños de partículas. La fracción insoluble se dispersa en agua y se tamiza a través de tamices con diámetros de poro en un rango de 30 a 300  $\mu$ m. El sobrenadante es principalmente una dispersión de gránulos de almidón y el residuo es fibra (Maphosa y Jideani, 2016).

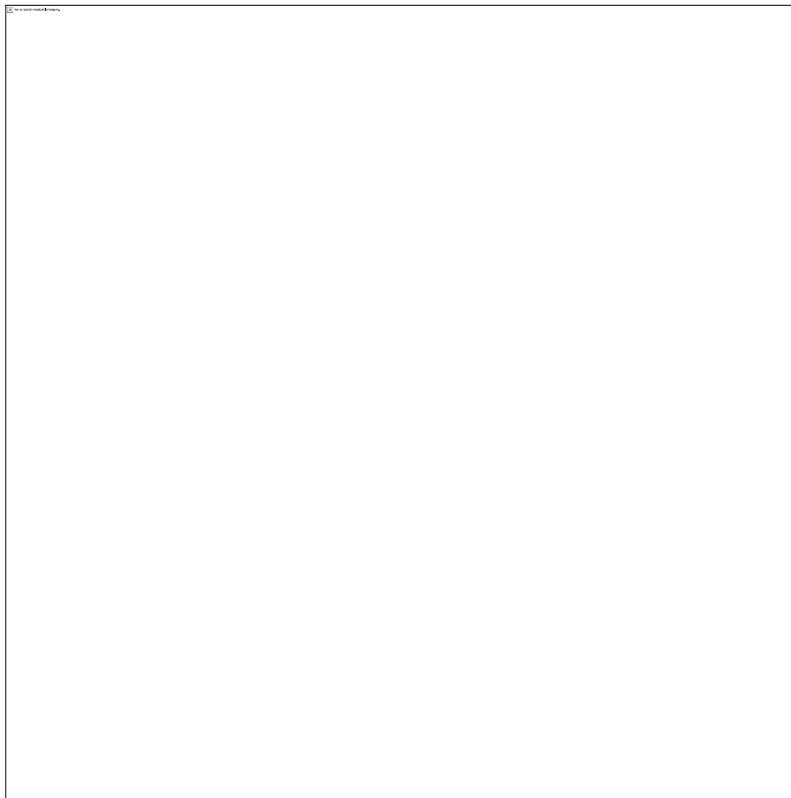


Figura 12: Equipo usado para realizar molienda húmeda en maíz

### **Métodos de extracción de fibra para cuantificación**

#### **Métodos gravimétricos**

*Los métodos no enzimático-gravimétricos* fueron los primeros métodos para la extracción de fibras. Estos métodos incluyen la descomposición química hidrolítica u oxidativa y la fibra cruda, que es el residuo que queda después de la descomposición química. Los métodos se pueden clasificar en dos categorías: extracciones con detergente ácido y detergente neutro. La extracción ácido-detergente aísla lignina, celulosa y hemicelulosa insoluble en ácido; la extracción de detergente neutro aísla celulosa, lignina y hemicelulosa insoluble en detergente neutro.

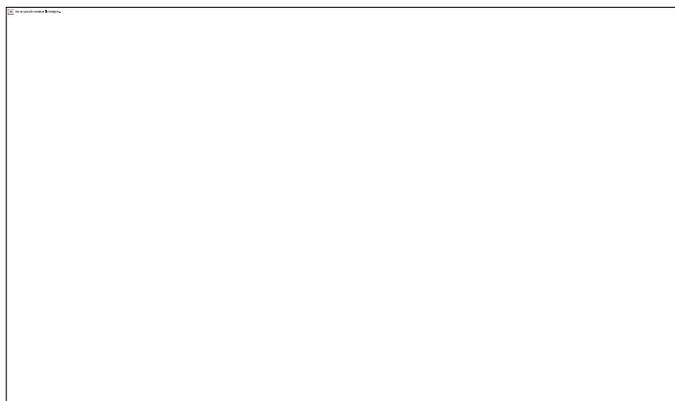


Figura 13: Equipo utilizado para determinar fibra cruda y detergente automatizado

El método enzimático-gravimétrico fue desarrollado por Prosky *et al.*, (1988) basado en el trabajo de Asp (1978). Este método implica tratamientos enzimáticos para la eliminación de almidón y proteínas, precipitación de componentes de fibras solubles mediante etanol, aislamiento y pesaje del residuo de FD y corrección de proteínas y cenizas en el residuo (Devinder *et al.*, 2012). El método enzimático-gravimétrico comienza con el uso de álcalis y ácidos para determinar la fibra cruda en muestras de plantas; luego, la AOAC lo modifica para incluir alimentos para animales. Posteriormente, este método se modificó para incluir el uso de enzimas para eliminar el almidón y solubilizar la fracción proteica. Además, el método incluye la eliminación de grasa si está presente por encima del 10%. Lee, Prosky y De Vries (1992) adaptaron este método para FDS Y FDI; luego se simplificó utilizando el buffer de ácido 4-morfolino-etanosulfónico-TRIS en lugar del buffer de fosfato original. Recientemente, se ha sugerido el uso de pepsina y pancreatina para la digestión de proteínas y almidón, ya que estas enzimas imitan a las enzimas digestivas del cuerpo humano. (Maphosa y Jideani, 2016).

#### **Métodos enzimático-químicos**

El método enzimático-químico fue descrito por primera vez por Southgate (1969) y desarrollado por Englyst *et al.*, (1994). La eliminación de fracciones de almidón y proteínas es un paso esencial para la extracción enzimático-química. Además, se requiere una precipitación con etanol o diálisis para separar los polisacáridos FD soluble de los azúcares de bajo peso molecular y los productos de

hidrólisis del almidón (Englyst *et al.*, 1994). Sin embargo, se prefiere la separación por diálisis a la precipitación con etanol para evitar la pérdida de fibra soluble (Mañas, Bravo y Saura-Calixto, 1994).

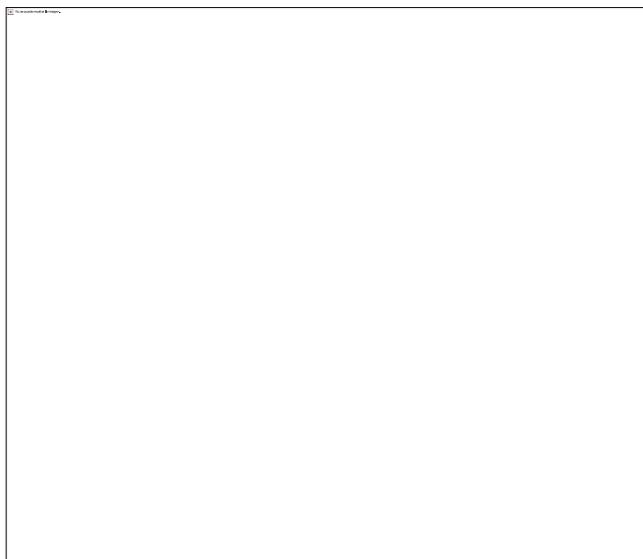


Figura 14: Kit enzimático Fibertec

### **Métodos físicos y microbianos**

*Los métodos físicos* preservan la estructura de las fibras y evitan dañar la cadena del polímero, por lo que las fibras extraídas pueden tener una alta capacidad de intercambio catiónico porque el grupo de la cadena lateral permanece casi intacto (Yangilar, 2013).

*Los métodos microbianos* implican la fermentación de fibras por microorganismos y enzimas. Estos métodos son específicos y precisos debido al uso de enzimas específicas que eliminan selectivamente los oligosacáridos y polisacáridos (Rodríguez *et al.*, 2006). Los métodos microbianos conservan la estructura de las fibras y las hemicelulosas significativas, y las fibras solubles no se pierden. Además, estos métodos tienen una alta selectividad y son fáciles de manejar. Cabe mencionar que, los microorganismos pueden producir sustancias tóxicas durante la fermentación; por lo tanto, las fibras extraídas no son adecuadas para su uso en aplicaciones alimentarias (Yangilar, 2013).

Métodos emergentes utilizados específicamente para la modificación de fibra dietética

Los métodos de modificación de la FD incluyen métodos químicos (principalmente ácido y método alcalino), métodos biotecnológicos (principalmente método enzimático) y métodos físicos

(principalmente, tecnología de alta presión, tecnología de extrusión y tecnología de pulverización ultrafina) que podrían romper algunos enlaces glicosídicos de FDI y disminuir el grado de polimerización.

#### Alta presión hidrostática y homogeneización a alta presión

El procesamiento a alta presión es una técnica no térmica que se puede aplicar bajo diferentes modalidades. La alta presión hidrostática (APH) transmite la presión utilizando un fluido, que generalmente es agua, como medio para provocar cambios moleculares-estructurales. Los cambios son principalmente de proteínas y polisacáridos. La presión se aplica en todas las direcciones en el recipiente a presión.

Otra técnica es la homogeneización a alta presión (HAP) que procede a inyectar el fluido en un pequeño espacio de unos pocos cientos de micrómetros, utilizando una bomba volumétrica; se trata de un funcionamiento continuo que produce una enorme velocidad de fluido en tiempos inferiores a 5 segundos. El fluido genera vibraciones de alta frecuencia, cavitación, alta tensión de cizallamiento, caída de presión instantánea y alta presión, lo que lleva a cambios estructurales en los productos alimenticios fluidos, la desnaturalización de proteínas y la ruptura celular (Xie et al., 2017). Estas técnicas se han utilizado con el propósito de mejorar las características fisicoquímicas y fisiológicas de la FD.

Hua et al., (2017) prepararon fibras de residuo de tomate mediante extracción con acetato de etilo (relación sólido/líquido de 1:3 durante 30 min a 25° C) y solución de NaOH (pH 9.0) con una relación sólido/líquido de 1:20 durante 1 hora a 25 ° C. Los residuos sólidos se lavaron posteriormente con agua desionizada hasta pH neutro y se molieron después de secar a 60 °C durante 8 h. La fibra se procesó mediante homogeneización a alta velocidad (se mezcló 1.0 g de fibras de tomate con 10 ml de agua desionizada y se trataron usando un homogeneizador de alta velocidad a 15,000 rpm durante 2 min. La mezcla se liofilizó y se molió hasta obtener un polvo fino a homogeneización a alta presión. (5 g de residuo de tomate), posteriormente las fibras crudas se mezclaron con 200 ml de agua desionizada y se trataron con un homogeneizador de alta presión a 100 MPa durante 10 ciclos, y la mezcla se liofilizó y se molió hasta obtener un polvo fino. También se ensayó una combinación de ambos procedimientos. Se caracterizó la estructura de la fibra. La homogeneización a alta velocidad podría romper las fibras crudas en pequeñas partículas de alrededor de 60  $\mu\text{m}$ ,

mientras que la homogeneización a alta presión modificaría su morfología microscópica. Ambos tratamientos prácticamente no afectaron la nanoestructura de las fibras. Tanto la homogeneización de alta velocidad como la HAP podrían aumentar el contenido de FDS en aproximadamente un 8% y el procesamiento combinado no mostró mejores resultados.

Xie et al., (2018) extrajeron pectina de residuos de cáscara de papa mediante ácido oxálico/oxalato de amonio (0.25%, pH 4.6) y con agitación de 2 horas a 85 °C. Estudiaron los efectos del procesamiento a alta presión (200 MPa durante 5 min) utilizando un recipiente de alta presión a escala de laboratorio (600 MPa) y de la homogeneización a alta presión a 200 MPa durante 5 min en ciclos utilizando un homogeneizador de alta presión, mientras que se utilizó un dispositivo de enfriamiento para mantener la temperatura a 25.2 °C. Los polisacáridos sometidos a tratamientos de alta presión presentaron, en general, mayor contenido de ácido galacturónico (APH: 64%; HAP 72%; pectina no tratada 58%), un grado de esterificación menor (APH 26%; HAP 18%; pectina no tratada 36%), peso molecular (APH 18.105 Da, HAP 6.105Da, pectina no tratada 18.105 Da), mayor viscosidad y mejores propiedades emulsionantes. Desde el punto de vista estructural, la degradación de las cadenas laterales de la pectina que fueron inducidas por los tratamientos a alta presión y la homogeneización a alta presión resultó en un efecto más marcado.

#### Alta presiones hidrostáticas asistido por enzimas

De la Peña *et al.* (2021), utilizaron simultáneamente alta presión hidrostática (APH), y la enzima comercial Celluclast® (92 EGU) para convertir FDI de cáscara de manzana en FDS, la combinación de ambos tratamientos produjo una solubilización de la FD del subproducto de la manzana. La accesibilidad a la pared celular aumentó debido a la alta presión, lo que permite una mayor disponibilidad de polisacáridos solubles. La celulasa de grado alimenticio usada (92 EGU de Celluclast®) trabajó a alta presión hidrostática (200, 400 y 600 MPa) y disminuyó el peso molecular de los polisacáridos solubles. Por lo tanto, el subproducto sometido a estos tratamientos podría constituir un nuevo ingrediente de FDS con aplicación potencial para la formulación de alimentos funcionales.

#### Extrusión

La tecnología de cocción por extrusión fue aplicada por Jing y Chi (2013) para el enriquecimiento de FDS en extracto obtenido de residuos de soya, los autores exploraron las siguientes variables del

proceso: temperatura de extrusión (90–130° C), humedad de alimentación (25%–35%) y velocidad del tornillo (160–200 rpm) utilizando una extrusora giratoria de doble tornillo. Con una temperatura de extrusión de 115 °C, una humedad de alimentación del 31% y una velocidad de tornillo de 180 rpm, el contenido de FDS del residuo de soya alcanzó un valor de 12.65% mientras que el residuo de soya sin extrudir mostró un contenido de 2.05%. El producto obtenido tuvo mayor capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite y capacidad de hinchamiento que los de la FD en el residuo de soya no extrudido.

#### Explosión de vapor

La okara es el subproducto de las industrias de tofu; Bo et al. (2019), investigaron el efecto del tratamiento con explosión de vapor (EV) sobre la FD, las proteínas y las propiedades fisicoquímicas de okara. Los resultados mostraron que la okara sin tratar contenía 76.38% de FD total y 18.10 % de proteína, pero el contenido de FDS era solo del 1.34%. Después del tratamiento con EV, el contenido de FDS aumentó significativamente. Cuando la fuerza de EV fue de 1.5 MPa durante 30 segundos, el contenido de FDS aumentó a 36.28%, 26 veces más en comparación con la muestra que no se aplicó EV. La solubilidad en agua de okara aumentó significativamente, mientras que la capacidad de hinchamiento, la capacidad de retención de aceite y agua disminuyeron después del tratamiento con EV. Este estudio sugirió que el tratamiento con EV es un método eficaz para mejorar el contenido de FDS y la calidad de okara, a fin de expandir su desarrollo y utilización.

#### Método enzimático-químico, extracción por agua subcrítica y ultrasonido químico

Xiaojing et al., (2021) evaluaron los efectos de los procesos de extracción químico-enzimática (QE-FDS), extracción de agua subcrítica (AS-FDS) y extracción química ultrasónica (QU-FDS) sobre el rendimiento, composición química, caracterización estructural, comportamiento de flujo, fisicoquímico y propiedades funcionales de la FDS de la harina de coco desgrasada (HCD). Las condiciones óptimas de estos tres métodos de extracción se evaluaron mediante la metodología de superficie de respuesta. En comparación con QE-FDS y QU-FDS, AS-FDS tuvo el rendimiento máximo ( $13.99 \pm 0.12$  g/100 g de FDS de HCD). Los resultados estructurales indicaron que AS-FDS y QU-FDS poseían estructuras más complejas y porosas que QE-SDF y HCD. Además, mostraron un peso molecular más pequeño, una propiedad gelificante más fuerte, una estabilidad térmica más alta y

una cristalinidad más baja. Un análisis de la composición de monosacáridos indicó que los azúcares principales en QE-FDS y QU-FDS eran manosa y galactosa. En particular, el AS-FDS demostró la mayor capacidad de retención de agua y aceite, adsorción de glucosa, inhibición de la lipasa pancreática, adsorción de colesterol y capacidad de adsorción de iones de nitrito. Los resultados anteriores sugieren que la harina de coco desgrasada es un alimento potencialmente funcional y una posible fuente de fibra dietética natural barata.

#### Peróxido de hidrógeno alcalino (PHA)

Ziqian *et al.* (2017), investigaron la FDS de testa de frijoles negros que resultan de la producción de aceite de frijol. Mezclaron cierto peso de polvo de testa de frijol negro con una solución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 15% (v/v) en una proporción de sólido a líquido de 1:18 (p/v) a pH 11, y luego la suspensión se agitó durante 0.5 h por medio de agitador magnético. Después de la reacción, las materias sólidas de la suspensión se recogieron mediante filtración a vacío seguido de lavado con agua destilada dos veces. Finalmente, el sólido lavado se transfirió al horno durante la noche a 60 °C para obtener las testas de frijol negro modificadas para la extracción de FDS.

En comparación con el contenido de FDS de las testas de frijoles negros originales era 7.8%, el contenido de FDS de las testas de frijoles negros modificados aumentó a 16.9%, lo que indicó que el método establecido en este estudio es de gran eficiencia para mejorar el contenido de FDS de las testas de frijol negro. Es bien sabido que las propiedades físicas de las FD podrían alterarse drásticamente mediante el tratamiento con peróxido de hidrógeno alcalino porque el PHA podría reducir la cristalinidad de la celulosa como parte solubilizante de la lignina mediante la ruptura de los enlaces de hidrógeno en las cadenas moleculares, lo que lleva a una estructura interna más abierta en las fibras. Por lo tanto, PHA también podría aumentar el contenido de FDS en los productos y el crecimiento en la retención de agua, la capacidad de hinchamiento y las características sensoriales de las fibras dietéticas modificadas (Cao *et al.*, 2016). En este estudio se seleccionó el PHA como método modificado por su gran seguridad y buena aplicación en la industria alimentaria.

#### Fermentación

El contenido de FDS en los productos alimenticios se puede mejorar mediante la fermentación debido a la secreción de enzimas y la producción de un ambiente ácido. Debido a su buena

solubilidad y abundantes grupos tensioactivos, estos componentes solubles podrían agregar propiedades funcionales que no existían originalmente o fortalecer las propiedades funcionales débiles existentes (Ozkaya et al., 2017). *Trichoderma viride*, una de las cepas productoras de celulasa más activas, puede producir una variedad de enzimas biológicamente activas, entre las cuales la celulasa tiene un notable efecto degradante de la fibra insoluble.

Jia et al., (2019) evaluaron el rendimiento de extracción de FDS en salvado de arroz ya que mejoró significativamente de 10.5 % (p/p) a 33.4 % (p/p,) mediante la fermentación de *Trichoderma viride* en condiciones óptimas (tamaño del inóculo 10%, pH 5.8 y 41 h). Tanto la fibra dietética soluble antes de la fermentación (B-FDS) como la fibra dietética soluble después de la fermentación (F-FDS) tienen características típicas del espectro infrarrojo de polisacáridos y estructura amorfa. Sin embargo, F-SDF tenía una estructura más suelta y un mayor peso molecular, así como una composición de monosacáridos más compleja que B-FDS. Además, F-FDS mostró un mejor rendimiento en la capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite, solubilidad en agua y en la capacidad de absorción de colesterol. Con la gran cantidad de salvado de arroz desgrasado que se descarta como subproducto del salvado de arroz, la utilización eficaz de tales subproductos para extraer alimentos funcionales puede generar beneficios económicos sustanciales.

#### Aplicaciones de la fibra en alimentos

En los productos alimenticios, la fibra dietética soluble puede tener propiedades texturales, gelificantes, espesantes y emulsionantes, mientras que la fibra dietética insoluble actúa como ingrediente funcional. Este apartado presenta las aplicaciones de las fibras dietéticas en el campo de la industria alimentaria. En la tabla 3 se presentan algunos productos alimenticios y el porcentaje de FDS, FDI y FDT de cada uno.

**Tabla 3: Contenido de FD en productos alimenticios**

Producto	Tipo de Residuo	FDI (%)	FDS (%)	FDT (%)	Referencia
Lácteo					

Producto	Tipo de Residuo	FDI (%)	FDS (%)	FDT (%)	Referencia
Yogur bebible	Cáscara de maracuyá	4.0	1.3	5.3	Viva <i>et al.</i> (2018)
Queso	Semillas de uva	n.d.	n.d.	4.65	Pasini <i>et al.</i> (2019)
Helado	Cáscara de pitahaya	n.d.	n.d.	3.47	Utpott <i>et al.</i> (2020)
Mantequilla	Cáscara de maní	8.59	1.21	9.55	Ma <i>et al.</i> (2014)
Horneado y pasta					
Pan de trigo	Semilla de manzana	7.24	1.59	8.83	Puric <i>et al.</i> (2020)
Pan sin gluten	Cáscara de café	9.84	1.52	11.36	Rios <i>et al.</i> (2020)
Galleta	Poso de café	11.4	1.3	12.7	Vázquez <i>et al.</i> (2018)
Espagueti	Cáscara de tomate	13.64	6.11	19.75	Padalino <i>et al.</i> (2017)
Barra granola	Tallo de agave	2.72	5.51	9.65	Zamora <i>et al.</i> (2014)
Palito de pan	Rizoma de loto	5.32	1.01	6.34	Thanushree <i>et al.</i> (2017)
Macarrón	Cáscara de mango	10.6	5.18	15.8	Ajila <i>et al.</i> (2009)
Pizza	Cáscara de calabaza	6.74	0.36	7.10	Butke <i>et al.</i> (2018)
Magdalena	Semilla de calabaza	8.22	2.89	11.11	Palacio <i>et al.</i> (2018)
Paneton	Cáscara de camote	1.87	0.48	2.24	Wendler <i>et al.</i> (2018)
Brownie	Semilla de jocote	10.44	6.81	17.25	Machado <i>et al.</i> (2020)
Extruido					
Ext.de amaranto	Cáscara de café	n.d.	n.d.	16.1	Beltrán <i>et al.</i> (2020)
Ext. de arroz	Cáscara de maracuyá	3.91	2.20	6.12	Alonso <i>et al.</i> (2019)
Conserva					
Mermelada	Cáscara de naranja	1.59	0.25	1.83	Teixeira <i>et al.</i> (2020)

Producto	Tipo de Residuo	FDI (%)	FDS (%)	FDT (%)	Referencia
<b>Bebida</b>					
Jugo de naranja	Albedo de naranja	n.d.	n.d.	1.4	Bosch <i>et al.</i> (2019)
Bebida láctea de cabra	Pulpa de guayaba	n.d.	n.d.	0.84	Buriti <i>et al.</i> (2014)
B. fermentada	Pulpa de yacón	n.d.	n.d.	0.35	Aguiar <i>et al.</i> (2013)
<b>Confitería</b>					
Chocolate	Hoja de col rizada	4.4	4.18	8.59	Carvalho <i>et al.</i> (2018)
Gelatina	Cáscara de plátano	8.85	3.96	12.70	Hye <i>et al.</i> (2010)
Caramelo	Cáscara de arroz	1.65	0.34	1.99	Florindo <i>et al.</i> (2016)
<b>Otro</b>					
Sopa	Tallo de pijuayo	8.37	1.32	9.69	Los <i>et al.</i> (2018)

Fuente: Elaboración Propia (n.d.= no determinado).

La Tabla 4 indica cómo la fibra dietética influye en las propiedades de textura, propiedad reológica, atributo de aceptabilidad y valor nutricional, a medida que disminuye el contenido energético, además fortalece el producto con fibra dietética en comparación con productos convencionales.

**Tabla 4: Influencia de la FD en productos alimenticios procesados**

Producto	Influencia de la FD	Fuente de FD	Referencia
<b>Lácteo</b>			
Helado	Sustituto de grasa Esponjamiento Comportamiento reológico	Cascara de pitahaya	Utpott <i>et al.</i> (2020)

Producto	Influencia de la FD	Fuente de FD	Referencia
	Aceptabilidad sensorial		
Yogur	Reducción de la sinéresis  Textura: firmeza, cohesión,  índice de viscosidad	Cáscara de manzana	Jovanovic <i>et al.</i> (2020)
Queso	Friabilidad, adhesividad	Bráctea externa y tallo de alcachofa	Costa <i>et al.</i> (2018)
Mantequilla	Firmeza, capacidad de untar	Albedo de naranja y hueso de pera	Goksel y Dogan (2016)
Horneado			
Pan de trigo	Mejorador: disminución de la dureza, adhesión, cohesión  Aceptabilidad sensorial	Vaina de guisante y haba	Belghith <i>et al.</i> (2016)
Conserva			
Mermelada	Viscosidad, incremento en el módulo de corte	Cáscara de plátano	Rajendran y Thampi (2019)
Bebida			
Bebida espesa	Estabilidad física  Aceptabilidad sensorial	Pulpa de soya	Chen <i>et al.</i> (2010)
Confitería			
Gelatina	Dureza, masticabilidad, adhesividad	Cáscara de plátano	Radzi (2020)

Producto	Influencia de la FD	Fuente de FD	Referencia
	Reducción de la sinéresis		
<b>Cárnicos</b>			
Salchicha de pollo	Capacidad de almacenamiento Aceptabilidad organoléptica	Cáscara de manzana Cáscara de tomate Cáscara de maíz	Yadav <i>et al.</i> (2015)

Fuente: Elaboración Propia

### **Confitería**

La fibra dietética soluble de trigo tiene la capacidad de actuar como agente de carga en caramelos gomosos, además al combinarse con sacarosa se puede obtener caramelos de goma que satisfagan las expectativas de los consumidores (Gok et al., 2020), las fibras dietéticas solubles se usan en la reformulación de dulces (Cappa et al., 2014). Los productos de confitería están desequilibrados nutricionalmente hablando ya que generalmente son ricos en azúcares y/o grasas pero bajos en proteínas, en contraste a ello Romo et al. (2019) desarrollaron caramelos gomosos enriquecidos con polvo de cáscara de piña y papaya con alto contenido en fibra dietética, en efecto los subproductos mejoraron el color y la textura respecto a los de sin el polvo, también redujeron el contenido calórico y su preferencia fue similar a los caramelos convencionales. Rao et al. (2016), hallaron que los caramelos cristalinos duros preparados con polvo de cáscara de limón eran los más aceptables, además proporcionaba un contenido rico en fibra dietética y vitamina C y en la salud contrarrestaría a diversas afecciones como la diabetes y la obesidad.

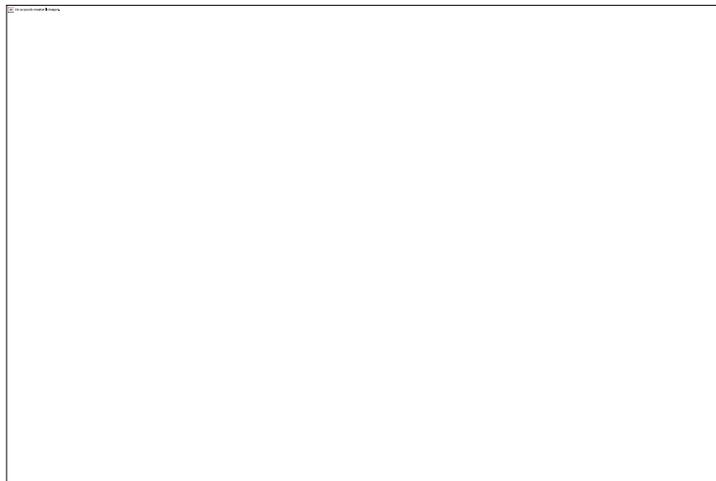


Figura 15: la FD agregada a productos de confitería

### **Panificación**

La complementación de la fibra dietética en los productos de panadería mejora el color, las características microestructurales, la vida de anaquel y la humedad en la corteza y la miga, pues al incrementar la adición de FD se incrementa también la capacidad de retención de agua.(Arslan et al., 2017).

Sabanis et al, (2009), indicaron que la adición de fibra de cereales tales como el trigo, la cebada, la avena y el maíz a 6g/100g y 3g/100g mejoró los parámetros sensoriales del pan debido a su efecto texturizante y su relación con la grasa que da una sensación en la boca, liberación del sabor y la percepción de la textura. Además, el pan tuvo una miga uniforme y poros de aire de un tamaño mediano.

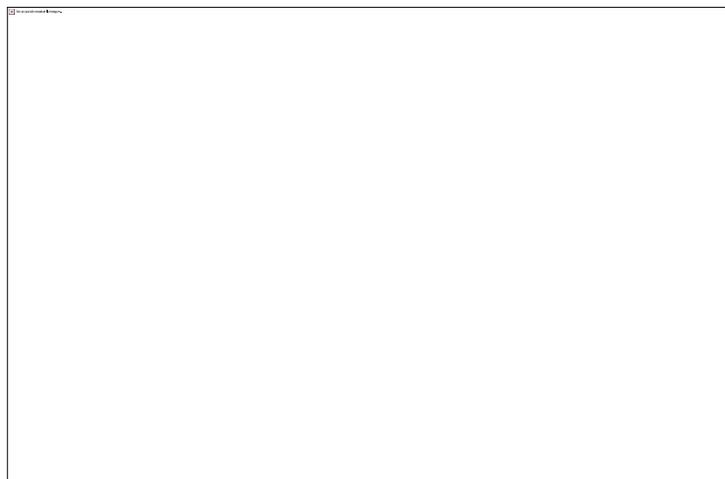


Figura 16: La miga uniforme debido a que se adicionó FD

### **Como aditivo alimentario**

La fibra dietética soluble es usada ampliamente como espesante y emulsionante en productos que contienen almidón (salsas de aderezo, panificación, yogur, confitería, jarabe de glucosa, etc) para controlar el flujo de agua y mejorar la calidad y el rendimiento en el almacenamiento también porque aporta viscosidad y forma geles, su incorporación resulta fácil al agregarla en alimentos y bebidas procesados (Spotti y Campanella, 2017).

La pectina, una fibra soluble extraída de las cáscaras de frutas y sus subproductos, es utilizada en diversos alimentos como estabilizador, emulsionante, gelificante y agente espesante, en el caso de su característica como emulsionante están la mayonesa, el requesón y el yogur bajos en grasa y las bebidas lácteas acidificadas (Vanitha y Khan, 2019). En la gelificación, las pectinas de alto metoxilo forman geles en un pH de 2 a 3.5, son usadas en mermeladas con un contenido de azúcar mayor al 55%, gelatinas de confitería, pastas de frutas, entre otros, mientras que las pectinas de bajo metoxilo forman geles en un rango de pH de 2 a 6, no necesitan azúcar por lo que es importante para la producción de alimentos bajos en calorías, tales como jaleas, conservas, mermeladas y postres lácteos (Chassaing et al., 2015). Por otro lado, las gomas tienen funciones como: espesantes, estabilizadores, emulsionantes y texturizantes, debido a su funcionalidad tecnológica y alta palatabilidad (Olive y Komarek, 2017).

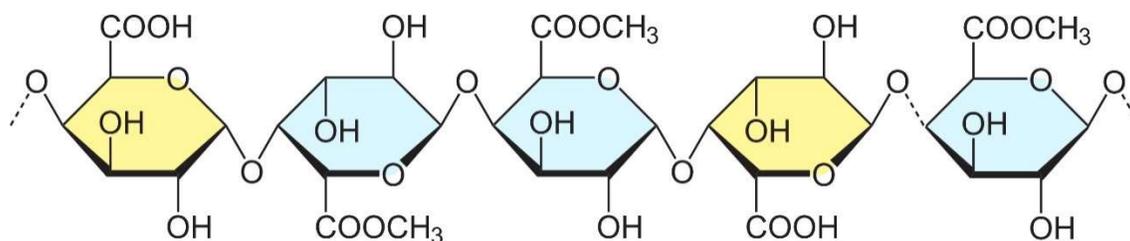


Figura 17: Estructura de la pectina

#### Retos e investigaciones a futuro

De la revisión realizada, se puede señalar que la mayor parte de los estudios para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales que se aprovechan para convertirse en algún tipo de FDS se queda a nivel de laboratorio, no se experimenta el escalamiento a la industria. Se ha demostrado que los beneficios de llevar estos conocimientos a la población resultarían benéficos para la salud por lo que ya se mencionó anteriormente. Así mismo la falta de equipos para las industrias es un impedimento ya que probablemente no haya producción continua y debido a esto retrase el proceso de producción.

También los investigadores que han agregado la FDS a algún alimento o como aditivo no han dado el seguimiento de consumo a la población y así tener la certeza que esa FDS represente un cambio importante en la alimentación y/o salud de algún consumidor y reportar los beneficios que pueda llegar a tener por lo que esta parte de las investigaciones queda incompleta para realizar estudios posteriores.

#### Conclusiones

Las FD están asociadas con varios beneficios para la salud y se clasifican en dos clases principales según su solubilidad en agua: solubles e insolubles. Las FD también son asociadas con las

características texturales y sensoriales de los productos alimenticios. Algunas propiedades importantes de las FD son la solubilidad, la viscosidad, la capacidad de retención de agua, la capacidad de retención de aceite, el tamaño de las partículas, la porosidad, etc. Las FD se pueden obtener de diversas fuentes, como frutas, hortalizas y cereales, mientras que la nueva tendencia es la recuperación de fibras dietéticas a partir de los desechos agroindustriales que la industria no utiliza y es así que por métodos de modificación solos o combinados se les puede aprovechar para posteriormente adicionarlo como ingrediente o aditivo en algún alimento y tener una dieta rica en fibra que posteriormente traerá beneficios y evitará tener alguna de las enfermedades que ya se describieron anteriormente.

## Referencias

- AACC, (2003). All dietary fiber is fundamentally functional. *AACC Rep* 2003; 48:128-132.
- Aguiar, M., Magalhaes, S., Barboza, N., Souza, A., Cardoso, S. and Da Cruz, G. (2013). Physicochemical, sensory, and microbiological evaluation and development of symbiotic fermented drink. *Food Science Technology*. doi: 10.1590/S0101-20612013000400030.
- Ajila, C., Aalami, M., Leelavathi, K. and Prasada, U. (2009). Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innovate Food Science and Emerging Technologies*. doi: 10.1016/j.ifset.2009.10.004.
- Alonso, P., Caliar, M., Soares, M., Soares, K., Fleury, L., Goncalves, L. and Siqueira, M. (2019). Use of agricultural by products in extruded gluten-free breakfast cereals. *Food Chemistry*. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.124956.
- Arora, A., and Camire, M. E. (1994). Performance of potato peels in muffins and cookies. *Food Res Int*; 27:15-22.
- Arslan, M., Rakha, A., Khan, M. and Zou, X. (2017). Complementing the dietary fiber and antioxidant potential of gluten free bread with guava pulp powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*. doi: 10.1007/s11694-017-9578-2.
- Asif, M. (2014). The prevention and control the type-2 diabetes by changing lifestyle and dietary pattern. *Journal of Education and Health Promotion*, 3.
- Asp, N. G. (1978). Critical evaluation of some suggested methods for assay of dietary fiber. *Journal of Plant Foods*, 3,21–26.
- Auffret, A., Ralet, M.C., Guillon, F., Barry, J.L., and Thibault, J.F. (1994). Effect of grinding and experimental conditions on the measurement of hydration properties of dietary fiber. *Technology Lebensm Wiss*; 27:166-72.
- Belderok, B. (2000). Developments in bread-making processes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 55(1), 1–14.
- Belghith, L., Chaari, F., Maaloul, M., Kallel, F., Abdelkafi, L., Ellouz, S. and Ghribi, D. (2016). Wheat bread enrichment by pea and broad bean pods fibers: Effect on dough rheology and bread quality. *LWT*. doi: 10.1016/j.lwt.2016.06.070.

- Beltrán, M., Guatemala, G., Padilla, E., Corona, R., Mondragón, P. and Arriola, E. (2020). Evaluation of the use of a coffee industry by-product in a cereal based extruded food product. *Foods*. doi: 10.3390/foods9081008.
- Blenford, D.E. (1992). Cellulose powder: an underutilized dietary fiber. *Int Food Ingrid*; 6:2-6.
- Bo, L., Wei, Y., Yaunyang, N., Kang, F., Douglas, G., and Steve, W. (2019). Effect of steam explosion on dietary fiber, polysaccharide, protein and physicochemical properties of okara. *Food Hydrocolloids* 94 48-56.
- Borchani, Ch., Besbes, S., Masmoudi, M., Bouaziz, M.A., Blecker, C., and Attia, H. (2012). Influence of oven-drying temperature on physicochemical and functional properties of date fibre concentrates. *Food Bioprocess Technol*; 5:1541-1551.
- Borderías, A. J., Sánchez, A. I., Pérez, M. M. (2005). New applications of fibers in foods: addition to fishery products. *Trends Food Sci Technol*; 16:458-465.
- Bosch, N., Marqués, R., Gurrea, A., Grau, C., Morillas, C., Hernández, A. and Bañuls, C. (2019). Effect of fibre enriched orange juice on postprandial glycaemic response and satiety in healthy individuals: an acute, randomised, placebo controlled, double blind, crossover study. *Nutrients*. doi: 10.3390/nu11123014.
- Buriti, F., Freitas, S., Egito, A. and Dos Santos, K. (2014). Effects of tropical fruit pulps and partially hydrolysed galactomannan from *Caesalpinia pulcherrima* seeds on the dietary fibre content, probiotic viability, texture and sensory features of goat dairy beverages. *LWT - Food Science and Technology*. doi: 10.1016/j.lwt.2014.04.022.
- Butke, W., Romeiro, M., Aparecida, L., Do Santos, F. and Novello, D. (2018). Addition of pumpkin skin flour in pizza changes the physicochemical and sensory acceptability of children. *International Journal of Development Research*.
- Cadden, A.M. (1987). Comparative effect of particle size reduction on the physical structure and water binding properties of several plant fibers. *J Food Sci*; 52:1595-1599.

- Cao, W. X., Sun, C., Qiu, J. P., Li, X. D., Liu, R. H., and Zhang, L. (2016). Pretreatment of sweet sorghum bagasse by alkaline hydrogen peroxide for enhancing ethanol production. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 33(3), 873-879.
- Cappa, C., Lavelli, V. and Mariotti, M. (2014). Fruit candies enriched with grape skin powders: Physicochemical properties. *LWT - Food Science and Technology*. doi: 10.1016/j.lwt.2014.07.039.
- Carvalho, J., Romoff, P. and Lannes, S. (2018). Improvement of nutritional and physicochemical proprieties of milk chocolates enriched with kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) and grape (*Vitis vinífera*). *Food Science and Technology*. doi: 10.1590/fst.15018.
- Casas, G. L. y Barrera, M. I. (2021). Revalorización de residuos agroindustriales: Caso Jalisco. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. México.
- Chassaing, K., Koren, O., Goodrich, J., Poole, A., Srinivasan, S., Ley, R. and Gewirtz, A. (2015). Dietary emulsifiers impact the mouse gut microbiota promoting colitis and metabolic syndrome. *Nature*. doi:10.1038/nature14232.
- Chen, H., Zhao, C., Li, J., Hussain, S., Yan, S., and Wang, Q. (2018). Effects of extrusion on structural and physicochemical properties of soluble dietary fiber from nodes of lotus root. *LWT-Food Science and Technology*; 93, 204–211.
- Chen, W., Duizer, L., Corredig, M. and Douglas, H. (2010). Addition of soluble soybean polysaccharides to dairy products as a source of dietary fiber. *Journal of Food Science*. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01688.x.
- Cho, S., DeVries, J.W., and Prosky, L. (1997). *Dietary fiber analysis and applications*. Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Costa, C., Lucera, A., Marinelli, V., Del Nobile, A. and Conte, A. (2018). Influence of different by products addition on sensory and physicochemical aspects of Primosale cheese. *J Food Sci Technol*. doi:10.1007/s13197-018-3347-z.
- Dalgetty, D. D., and Baik, B. K. (2003). Isolation and characterization of cotyledon fibers from peas, lentils, and chickpeas. *Cereal Chemistry*, 80, 310–315.

- De la Peña, A. R., Villanueva, S. M. J., Molina, G. A.D., Rupérez, P. and Mateos, A. I. (2021). Novel rich-insoluble dietary fiber apple ingredient obtained from the synergistic effect of high hydrostatic pressure aided by Celluclast®, *LWT*, Volume 146, 111-421,
- Devinder, D., Mona, M., Hradesh, R., and Patil, R. T. (2012). Dietary fiber in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255–266. <https://dx.doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., and Patil, R. T. (2012). Dietary fiber in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255–266.
- Eckhoff, S. R., Du, L., Yang, P., Rausch, K. D., Wang, D. L. and Li, B. H. (1999). Comparison between alkali and conventional corn wet-milling: 100-g procedures. *Cereal Chemistry*, 76, 96–99.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., and Attia, H. (2011). Dietary fiber and fiber-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. *Food Chemistry*, 124(2), 411–421.
- Englyst, H. N., Quigley, M. E., and Hudson, G. J. (1994). Determination of dietary fiber as non-starch polysaccharides with gas-liquid chromatographic, high-performance liquid chromatographic or spectrophotometric measurement of constituent sugars. *The Analyst*, 119(7), 1497–1509. <https://dx.doi.org/10.1039/AN9941901497>.
- Esposito, F., Arlotti, G., Bonifati, A. M., Napolitano, A., Vitale, D., and Fogliano, V. (2005). Antioxidant activity and dietary fiber in durum wheat bran by-products. *Food Research International* 38, 1167–1173.
- FDA. (2016). Food labeling: revision of the nutrition and supplement facts labels. Federal Register. Vol. 81, No. 103, May 27, 2016, 21 CFR Part 101, Docket No. FDA-2012- N-1210, 33742-33999.
- Fermentia, A., Lefebvre, C., Thebaudin, Y., Robertson, J. and Bourgeois, C. (1997). Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. *J Food Sci*; 62:59-63.
- Figuerola, F., Hurtado, M.L., Estévez, A.M., Chiffelle, I., and Asenjo, F. (2005). Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment. *Food Chem*; 91:395-401.
- Fizman, S., and Varela, P. (2013). The role of gums in satiety/satiation. A review. *Food Hydrocolloids*, 32(1), 147–154.

- Florindo, C., Caliari, M., Soares, M., Duarte, R., Del Pino, A. and Costa, M. (2016). Physicochemical and sensory properties of sugar cane candies with roasted peanut and extruded rice bran. *Journal of Food and Nutrition Research*. doi: 10.12691/jfnr-4-3-6.
- Fuentes, A. J. M., Rodríguez, G. G., Jaramillo, C. S., Espejo, C. J. A., Rodríguez, A. R., and Fernández, B. J. (2009). Effect of extraction method on chemical composition and functional characteristics of high dietary fiber powders obtained from asparagus by-products. *Food Chemistry*, 113, 665–671.
- Gallanger, D. and Schneeman, B.O. (2001). Dietary fiber. In: Bowman B, Russel B, editors. Present knowledge in nutrition. 8th ed. Washington, DC: ILSI;. p. 805
- García, P. P, y Álvarez, F. V. (2000). Fibra y salud. *Nutrición y obesidad*. 3:127-135.
- Gartzia, I. (2008). Agrofibra: Desarrollo de ingredientes alimentarios a base de fibra dietética procedentes de residuos agroalimentarios., p.y.A. Departamento de Agricultura, Editor. C. AZTI/DAPA. Sukarrieta: Gobierno Vasco.
- Gerschenson, L. N., Rojas, A. M., and Fissore, E. N. (2019). Conventional and Emerging Extraction Technologies. Buenos Aires University, Natural and Exact Sciences School, Industry Department, Buenos Aires, Argentina. CONICET-University of Buenos Aires, Institute of Food Technology and Chemical Processes (ITAPROQ), Buenos Aires, Argentina.
- Gok, S., Toker, O., Palabiyik, I. and Konar, N. (2020). Usage possibility of mannitol and soluble wheat fiber in low calorie gummy candies. *LWT - Food Science and Technology*. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109531.
- Goksel, S. and Dogan, M. (2016). Incorporation of dietary fiber concentrates from from fruit and vegetable wastes in butter: Effects on physicochemical, textural, and sensory properties. *Eur. Food Res. Technol.* doi: 10.1007/s00217-016-2637-9.
- Gordon, D. T., and Okuma, K. (2002). Determination of total dietary fiber in selected foods containing resistant maltodextrin by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 85(2), 435–444.
- Gorinstein, S., Zachwieja, Z., Folta, M., Barton, H., Piotrowicz, J. and Zember, M. (2001). Comparative content of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples. *J Agric Food Chem*; 49:952-957.

- Grigelmo, M. N. and Belloso, O., (1997). Dietary fibre as a by-product of orange fruit extraction. Book of Abstracts, Institute of Food Technologists Annual Meeting. Abstract, pp. 39.
- Guerin, D. L., Pochat, M., Reifer, C., Wils, D., Cho, S., and Miller, L. E. (2011). The soluble fiber NUTRIOSE induces a dose-dependent beneficial impact on satiety over time in humans. *Nutrition Research*, 31(9), 665–672.
- Guoyong, Y., Jia, B., Jing, Z., Quanhong, Li., Chen, C. (2018). Modification of carrot (*Daucus carota* Linn. var. *Sativa* Hoffm.) pomace insoluble dietary fiber with complex enzyme method, ultrafine comminution, and high hydrostatic pressure. *Food Chemistry*. Volume 257, 333-340.
- Hasbay, I. (2019). Dietary Fiber and Nutrition, *Dietary Fiber: Properties, Recovery and Applications*, Chapter 4. Editor(s): Charis M. Galanakis, Academic Press, Pages 79-123, ISBN 9780128164952, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816495-2.00004-6>.
- Hua, X., Xu, S., Wang, M., Chen, Y., Yang, H., and Yang, R. (2017). Effects of high-speed homogenization and highpressure homogenization on structure of tomato residue fibers. *Food Chemistry*, 232, 443–449.
- Huang, S., He, Y., Zou, Y. and Liu, Z. (2015). Modification of insoluble dietary fibers in soya bean okara and their physicochemical properties. *International Journal of Food Science and Technology* 2015, 50, 2606–2613.
- Hye, L. E., Jung, Y. H., Sun, H. M. and Ho, B. D. (2010). Development of banana peel jelly and its antioxidant and textural properties. *Food Science and Biotechnology*. doi: 10.1007/s10068-010-0063-5.
- Jaime, L., Molla, E., Fernández, A., Martín, C. M., López, A. F., and Esteban, R. (2002). Structural carbohydrates differences and potential source of dietary fiber of onion (*Allium cepa* L.) tissues. *J Agric Food Chem*; 50:122-128.
- Jia, M., Jiajun, C., Xiaozhen, L., Mingyong, X., Shaoping, N., Chen, Y., Jianhua, X. and Qiang, Y. (2019). Structural characteristics and functional properties of soluble dietary fiber from defatted rice bran obtained through *Trichoderma viride* fermentation. *Food Hydrocolloids*. Volume 94, 468-474,
- Jing, Y., and Chi, Y. J. (2013). Effects of twin-screw extrusion on soluble dietary fiber and physicochemical properties of soybean residue. *Food Chemistry*, 138, 884–889.

- Jovanovic, M., Petrovic, M., Miocinovic, J., Zlatanovic, S., Lalicic, J., Mitic, D. and Gorjanovic, S. (2020). Bioactivity and sensory properties of probiotic yogurt fortified with apple pomace flour. *Foods*. doi: 10.3390/foods9060763.
- Kelsay, J. L., Behall, K. M., and Prather, E. S. (1978). Effect of fiber from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects I. Bowel transit time, number of defecations, fecal weight, urinary excretions of energy and nitrogen and apparent digestibilities of energy, nitrogen, and fat. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 31(7), 1149–1153.
- Kin, Y.I. (2000). A technical review: Impact of dietary fiber on colon cancer occurrence. *Gastroenterology*; 118:1235-1257.
- Kranz, S., Mitchell, D.C., Siega, R. A., and Smiciklas, W. H. (2005). Dietary fiber intake by American Preschoolers is associated with more nutrient-dense diets. *Journal American Dietary Assoc*; 105:221-225.
- Kurek, M.A., Piwinska, M., Wyrwicz, J. and Wirzbicka, A. (2015). Automated static image analysis as a novel tool in describing the physical properties of dietary fiber. *Food Sci Technol Camp*; 35:620-625.
- Lambo, A. M., Oste, R., and Nyman, M. E. L. (2005). Dietary fiber in fermented oat and barley  $\beta$ -glucan rich concentrates. *Food Chemistry*, 89(2), 283–293.
- Larrauri, J.A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fiber powders from fruits by products. *Trends Food Sci Nutr*; 10:3-8.
- Los, P., Silva, D., De Sousa, R., Cervejeira, B., Cardoso, T. and Godoy, E. (2018). Viability of peach palm by-product, *Spirulina platensis*, and spinach for the enrichment of dehydrated soup. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. doi: 10.1590/s0100-204x2018001100008.
- Ma, Y., Kerr, W., Swanson, R., Hargrove, J. and Pegg, R. (2014). Peanut skins fortified peanut butters: Effect of processing on the phenolics content, fibre content and antioxidant activity. *Food Chemistry*. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.08.125.
- Macagnan, F. T., Da Silva, L. P., and Hecktheuer, L. H. (2016). Dietary fiber: 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.

- Machado, D., Alves, I., Ramirez, E. and Damiani, C. (2020). Red mombin (*Spondias purpurea* L.) seed flour as a functional component in chocolate brownies. *Journal of Food Science and Technology*. doi: 10.1007/s13197-020-04574-4.
- Makowski, B., Rosicka, K. J., and Nebesny, E. (2015). Bioactive compounds in cereals: technological and nutritional properties. *Biotechnology of Bioactive Compounds: Sources and Applications*, 103.
- Mañas, E., Bravo, L., and Saura, C. F. (1994). Sources of error in dietary fiber analysis. *Food Chemistry*, 50, 331–342.
- Maphosa, Y., and Jideani, V. A. (2016). Dietary fiber extraction for human nutrition a review. *Food Reviews International*; 32, 98–115.
- Mejías, B. N., Orozco, G. E. y Galán, H. N. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. Vol. 2 No.6 27-41.
- Mensink, M.A., Frijlink, H. W., Voort, M, K., and Hinrichs, W. L. J. (2015). Inulin, a flexible oligosaccharide I: review of its physicochemical characteristics. *Carbohydr Polym*; 130:405-419.
- Molina, M., y Martín, A. (2007). La fibra dietética procesada como alimento funcional. *Ámbito farmacéutico*. Vol 26. Num 1. España.
- Muehlbauer, F. J. (2002). Carbohydrates in grain legume seeds: improving nutritional quality and agronomic characteristics. *Crop Science*, 42, 979–981.
- Mwaikambo, L. (2006). Review of the history, properties and application of plant fibres. *African Journal of Science and Technology*, 7, 121.
- Olive, Y. and Komarek, A. (2017). Dietary fibre basics: Health, nutrition, analysis, and applications. *Food Quality and Safety*. doi: 10.1093/fqsafe/fyx007.
- Olson, A., Gray, G., and Chiu, M. (1987). Chemistry and analysis of soluble dietary fiber. *Food Technology (USA)*, 41(2), 71–80.

- Ozkaya, H., Özkaya, Duman, B. and Turksoy, S. (2017). Effect of dephytinization by fermentation and hydrothermal autoclaving treatments on the antioxidant activity, dietary fiber, and phenolic content of oat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(28), 5713–5719.
- Padalino, L., Conte, A., Lecce, L., Likyova, D., Sicari, V., Pellicanò, T., Poiana, M. and Del Nobile, M. (2017): Functional pasta with tomato by product as a source of antioxidant compounds and dietary fiber. *Czech J. Food Sci.* doi: 10.17221/171/2016-CJFS.
- Palacio, M. I., Etcheverría, A. I. and Manrique, G. D. (2018). Development of gluten free muffins utilizing squash seed dietary fiber. *Journal of Food Science and Technology*. doi: 10.1007/s13197-018-3213-z.
- Pasini, C., Inocencio, P., Sousa, J., Gómez, A., Da Silva, M. and Granato, D. (2019). Phenolic rich Petit Suisse cheese manufactured with organic bordeaux grape juice, skin, and seed extract: technological, sensory, and functional properties. *LWT - Food Science and Technology*. doi: 10.1016/j.lwt.2019.10849.
- Peerajit, P., Chiewchan, N., and Devahastin, S. (2012). Effects of pretreatment methods on healthrelated functional properties of high dietary fiber powder from lime residues. *Food Chem*; 132:1891-1898.
- Prosky, L., Asp, N. G., Schweizer, T. F., DeVries, J. W., and Furda, I. (1988). Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *Journal of AOAC International*, 71(5), 1017–1023.
- Pszczola, D. (1991). Oat-bran based ingredient blend replaces fat in ground beef and pork sausages. *Food Technol*; 45:60-66.
- Purić, M., Rabrenović, B., Rac, V., Pezo, L., Tomašević, I. and Demin, M. (2020). Application of defatted apple seed cakes as a by-product for the enrichment of wheat bread. *LWT - Food Science and Technology*. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109391.
- Radzi, H. (2020). Incorporation of banana peel fiber in jelly as a functional food precursor. Malaysian Academic Library Institutional Repository.

- Raghavendra, S.N., Ramachandra, S. S. R., Rastogi, N.K., Raghavarao, K. S. M. S., Kumar, S. and Tharanathan, R. N. (2006). Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: a source of dietary fiber. *J Food Eng*; 72:281-286.
- Rajendran, N. and Thampi, H. (2019). Extraction and characterization of pectin from banana peel. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*. doi: 10.34302/2019.11.4.4.
- Ramírez, E. C., Johnston, D. B., Mcaloon, A. J., and Singh, V. (2009). Enzymatic corn wet milling: engineering process and cost model. *Biotechnology for Biofuels*, 2, 2. <https://dx.doi.org/10.1186/1754-6834-2-2>.
- Rao, N., Sharma, M. and Sharma A. (2016). Development of products rich in dietary fiber and antioxidant prepared from lemon peel. *Global Journal of Biology, Agriculture & Health Sciences*.
- Rao, T. P. (2016). Role of guar fiber in appetite control. *Physiology and Behavior*, 164, 277–283.
- Rodriguez, R., Jimenez, A., Fernández, B. J., Guillen, R., and Heredia, A. (2005). Dietary fiber from vegetable products as source of functional ingredients. *Trends in Food Science y Technology*, 17, 3–15.
- Romo, Z., Pérez, C. and Tecante, A. (2019). Physicochemical and sensory properties of gummy candies enriched with pineapple and papaya peel powders. *Food and Nutrition Sciences*. doi:10.4236/fns.2019.1011094.
- Sabanis, D., Lebesi, D. and Tzia, C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten free bread. *LWT - Food Science and Technology*. doi: 10.1016/j.lwt.2009.03.010.
- Saéñz, H. C. (1997). Cladodes: a source of dietary Fiber. *J Prof Assoc Cactus Dev*; 34:117-123.
- Salehifar, M., and Fadaei, V. (2011). Comparison of some functional properties and chemical constituents of dietary fibers of Iranian rice bran extracted by chemical and enzymatic methods. *African Journal of Biotechnology*, 10, 18528–18531.
- Sanaka, M., Urita, Y., Sugimoto, M., Yamamoto, T., and Kuyama, Y. (2006). Comparison between gastric scintigraphy and the [13C]-acetate breath test with Wagner–Nelson analysis in humans. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 33(12), 1239–1243.
- Shahidi, F. (2000). Antioxidants in food and food antioxidants. *Food/Nahrung*, 44(3), 158–163.

- Sierra, M., García, J. J., Fernández, N., Diez, M. J., Calle, A. P., and Sahagún, A. M. (2001). Effects of ispaghula husk and guar gum on postprandial glucose and insulin concentrations in healthy subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*, 55(4), 235.
- Slavin, J. (2003). Impact of the proposed definition of dietary fiber on nutrient databases. *J Food Compos Anal*; 16:287-291.
- Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417–1435.
- Slavin, J., and Green, H. (2007). Dietary fiber and satiety. *Nutrition Bulletin*, 32, 32–42.
- Smith, B. G. (2013). Fiber in fruit. In M. Skinner y D. Hunter (Eds.), *Bioactives in fruit*. <https://doi.org/10.1002/9781118635551.ch2>.
- Solah, V. A., Brand, M. J. C., Atkinson, F. S., Gahler, R. J., Kacinik, V. and Lyon, M. R., (2014). Dose–response effect of a novel functional fibre, PolyGlycopleX®, PGX®, on satiety. *Appetite*, 77, 74–78.
- Southgate, D. A. T. (1969). Determination of carbohydrates in foods II. Unavailable carbohydrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 20(6), 331–335. <https://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2740200603>.
- Spotti, M. J. & Campanella, O. H. (2017). Functional modifications by physical treatments of dietary fibers used in food formulations. *Current Opinion in Food Science*. doi: 10.1016/j.cofs.2017.10.003.
- SSA (2016). Secretaría de Salud. ¿Cuánta fibra dietética se debe consumir? Fecha de publicación 09 de julio de 2016. Consultado en línea el 20 de septiembre de 2021. Disponible en <https://www.gob.mx/salud/articulos/cuanta-fibra-dietetica-se-debe-consumir>
- Teixeira, F., Aparecida, B., Nunes, G., Machado, J., Aparecida, L., Oliveira, G., Vilela, J., Menegassi, B., Murino, B., Schwarz, K., Freitas, E. and Novello, D. (2020). Addition of range peel in orange jam: evaluation of sensory, physicochemical, and nutritional characteristics. *Molecules*. doi: 10.3390/molecules25071670.
- Termrittikul, P., Jittanit, W., y Sirisansaneeyakul, S. (2018). The application of ohmic heating for inulin extraction from the wet-milled and dry-milled powders of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 99–110.

- Thanushree, M., Sudha, M. and Crassina, K. (2017). Lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizome powder as a novel ingredient in bread sticks: rheological characteristics and nutrient composition. *Journal of Food Measurement and Characterization*. doi: 10.1007/s11694-017-9561-y.
- Trowell, H.C. (1974). Definitions of fiber. *Lancet* 1:503.
- Tungland, B.C., Meyer, D. (2002). Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): their physiology and role in human health and food. *Compr Rev Food Sci Food Saf*; 3:73-92.
- Utpott, M., Ramos, de A. R., Galarza, V. C., Nunes, P., A., Tischer, B., de Oliveira, R. A., and Hickmann, F. S. (2020). Characterization and application of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder as a fat replacer in ice cream. *Journal of Food Processing and Preservation*. doi: 10.1111/jfpp.14420.
- Vanitha, T. and Khan, M. (2019). Role of Pectin in Food Processing and Food Packaging. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.83677.
- Vázquez, K., Martínez, N., Rebollo, M., Del Castillo, M., Gaytán, M. and Campos, R. (2018). In vitro health promoting properties of antioxidant dietary fiber extracted from spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds. *Food Chemistry*. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.04.064.
- Vitaglione, P., Napolitano, A., and Fogliano, V. (2008). Cereal dietary fiber: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends in Food Science and Technology*, 19(9), 451–463.
- Viva, N., Costa, A., Mendes, P., Charles, D., Granato, D. and Canniatti, S. (2018). Potentials and pitfalls on the use of passion fruit by products in drinkable yogurt: physicochemical, technological microbiological, and sensory aspects. *Beverages*. doi: 10.3390/beverages4030047.
- Wang, Z. Q., Zuberi, A., Zhang, X. H., Macgowan, J., Qin, J., Ye, X. (2007). Effects of dietary fibers on weight gain, carbohydrate metabolism and gastric ghrelin gene expression in high fat diet fed mice. *Metabolism*, 56(12), 1635–1642.
- Wendler, T., De Fátima, L., Da Cruz, V., Jordo, C., Freitas, E. and Novello, D. (2018). Aproveitamento da casca de batata doce na produção de panetone: Caracterização físicoquímica e aceitabilidade sensorial entre crianças. Universidade Estadual do Centro Oeste, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

- Westenbrink, S., Brunt, K., and Van der Kamp, J. W. (2013). Dietary fiber: challenges in production and use of food composition data. *Food Chemistry*, 140, 562–567.
- Wisker, E., Feldheim, W., Pomeranz, Y. and Meuser, F. (1985). Dietary fiber in cereals. In: Pomeranz Y, editor. *Advances in cereal science and technology*. Saint Paul, MN: *American Association of Cereal Chemist*; p. 169-238
- Wronkowska, M., and Haros, M. (2014). Wet-milling of buckwheat with hull and dehulled—the properties of the obtained starch fraction. *Journal of Cereal Science*, 60, 477–483.
- Xiaojing Du, Li Wang, Xin Huang, Huijuan Jing, Xin Ye, Wei Gao, Xinpeng Bai, Hongxin Wang. (2021). Effects of different extraction methods on structure and properties of soluble dietary fiber from defatted coconut flour. *LWT. Food Science and Technology* 143, 01-11
- Xie, F., Li, M., Lan, X., Zhang, W., Gong, S., and Wu, J. (2017). Modification of dietary fibers from purple-fleshed potatoes (Heimeiren) with high hydrostatic pressure and high pressure homogenization processing: a comparative study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 42, 157–164.
- Xie, F., Zhang, W., Lan, X., Gong, S., Wu, J., & Wang, Z. (2018). Effects of high hydrostatic pressure and high pressure homogenization processing on characteristics of potato peel waste pectin. *Carbohydrate Polymers*, 196,474–482
- Xinhong, L., Junjian, R., Junliang S., Tianlin, W., Zhonggao, J., Hongju ,H. and Mingming, Z. (2018). Steam-explosion-modified optimization of soluble dietary fiber extraction from apple pomace using response surface methodology, *CyTA - Journal of Food*, 16:1, 20-26, DOI: 10.1080/19476337.2017.1333158.
- Yadav, S., Malik, A., Pathera, A., Islam, R. and Sharma, D. (2015). Development of dietary fibre enriched chicken sausages by incorporating corn bran, dried apple pomace and dried tomato pomace. *Nutrition & Food Science*. doi: 10.1108/NFS-05-2015-0049.
- Yangilar, F. (2013). The application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: a review. *Journal of Food and Nutrition Research*, 1, 13–23.

Ziqian, F., Wei, D., Sierkemideke, A., Yuge. N., and Liangli, Y. (2017). Modified soluble dietary fiber from black bean coats with its rheological and bile acid binding properties. *Food Hydrocolloids*. Volume 62, 94-101.



UANL



UNIVERSIDAD DE  
GUANAJUATO



**LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN Y LA  
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**

Otorga la presente CONSTANCIA a

**Roberto C. Martínez-Yañez y María E. Rodríguez-Huezo**

Por su participación con el trabajo en modalidad ORAL, con título:

**Obtención de fibra soluble a partir de desechos agroindustriales y su aplicación en  
alimentos**

Presentado en

**XXIII CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS  
VIII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INNOVACIÓN Y  
TENDENCIAS EN PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS**

Realizado del 22, 23 y 24 de junio de 2022 en la modalidad virtual.

**San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México a 22 de junio de 2022**

**Dr. Juan Gabriel Báez González**

Coord. del Congreso FCB,  
Universidad Autónoma de Nuevo  
León

**M.C. Karla G. García Alanís**

Coord. del Congreso FCB,  
Universidad Autónoma de Nuevo  
León

**Dra. Ma. Del Rosario Abraham  
Juárez**

Coord. del Congreso Universidad  
de Guanajuato

**CONSTANCIA**