

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**FIBRA DIETÉTICA DE REMOLACHA AZUCARERA: BENEFICIOS,  
PROPIEDADES E IMPORTANCIA EN LA SALUD HUMANA Y LA  
AGROINDUSTRIA**

**POR**

**ESTEFANY ALEJANDRA VASQUEZ ORDENES**

**MEMORIA PRESENTADA A LA FACULTAD  
DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE  
CONCEPCIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN-CHILE  
2025**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**FIBRA DIETÉTICA DE REMOLACHA AZUCARERA: BENEFICIOS,  
PROPIEDADES E IMPORTANCIA EN LA SALUD HUMANA Y LA  
AGROINDUSTRIA**

**POR:**

**ESTEFANY ALEJANDRA VASQUEZ ORDENES**

**MEMORIA PRESENTADA A LA FACULTAD  
DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE  
CONCEPCIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN-CHILE  
2025**

Aprobada por:

Profesor Asociado, Pamela Williams S.  
Ing. Agrónomo, Dr. Cs. Agrarias

---

Guía

Profesor Asociado, Valeria Velasco P.  
Ing. Alimentos, Mg Cs, Ph. D. Food Safety

---

Asesor

Profesor Asociado, Marcelo Doussoulin G.  
Ing. Agrónomo, Mg. Cs. Dr. Ingeniería Agraria

---

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.  
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDO**

	Página
Resumen.....	2
Summary.....	2
Introducción.....	3
Capítulo 1. Fundamentos teóricos.....	5
Capítulo 2. Beneficios de la fibra dietética de remolacha azucarera...	11
Capítulo 3. Aspectos agroindustriales de la fibra dietética de remolacha azucarera.....	13
Capítulo 4. Aplicaciones prácticas y oportunidades para la inclusión de la fibra de remolacha azucarera en la industria alimentaria humana.....	17
Conclusión.....	20
Referencias.....	20

**ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS**

	Página
Tabla 1. Relación entre las propiedades fisicoquímicas de la fibra alimentaria y sus efectos fisiológicos.....	6
Figura 1. Métodos analíticos para la determinación de la fibra.....	8
Tabla 2. Fuentes de fibra dietética, características y efectos reportados para la salud.....	9
Tabla 3. Recomendaciones dietéticas de la fibra para seres humanos, según grupo poblacional.....	10
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso extracción de azúcar y fibra en Remolacha azucarera.....	14
Tabla 4. Comparación de parámetros de fibra en remolacha azucarera.....	15

## **FIBRA DIETÉTICA DE REMOLACHA AZUCARERA: BENEFICIOS, PROPIEDADES E IMPORTANCIA EN LA SALUD HUMANA Y LA AGROINDUSTRIA**

DIETARY FIBER FROM SUGAR BEET: BENEFITS, PROPERTIES AND IMPORTANCE IN HUMAN HEALTH AND AGROINDUSTRY

**Palabras clave:** *Beta vulgaris* var. *saccharifera*, fibra soluble e insoluble, fermentación, metabolitos, salud humana, agroindustria.

### **RESUMEN**

El siguiente trabajo analiza la composición, propiedades y usos de la fibra dietética de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*). Se describen los beneficios específicos que esta fibra puede ofrecer para la salud, tales como el mejoramiento del tránsito intestinal, el control glicémico y la regulación del apetito y del peso corporal. Asimismo, se abordan aspectos metabólicos relevantes, tales como la fermentación colónica y la producción de ácidos grasos de cadena corta, también factores agroindustriales vinculados a su extracción, calidad y métodos de determinación. Esta revisión busca enriquecer el conocimiento científico en torno a este recurso alimentario, e identificar oportunidades para su aplicación en la agroindustria como ingrediente funcional en el desarrollo de productos innovadores que satisfagan las demandas actuales de los consumidores. Este enfoque propone una mirada integradora que vincula salud, innovación alimentaria y sostenibilidad, contribuyendo al posicionamiento de la fibra de remolacha como una alternativa sostenible y valiosa dentro del sector alimentario. Sin embargo, luego de esta revisión se reconoce que falta indagar en otras oportunidades del mercado con respecto a posibles productos derivados de esta fibra, en conjunto con su respectivo marketing, de manera que se potencie su uso cotidiano en la dieta humana.

### **SUMMARY**

This review analyzes the composition, properties, and uses of dietary fiber from sugar beet (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*). It describes the specific health benefits this fiber can offer, such as improving intestinal transit, supporting glyceemic control,

and regulating appetite and body weight. Additionally, it addresses relevant metabolic aspects, including colonic fermentation and the production of short-chain fatty acids, as well as agro-industrial factors related to its extraction, quality, and methods of determination. This review aims to enrich scientific knowledge surrounding this food resource and identify opportunities for its application in the agro-industrial sector as a functional ingredient in the development of innovative products that meet current consumer demands. This approach proposes an integrative perspective that links health, food innovation, and sustainability, contributing to the positioning of beet fiber as a sustainable and valuable alternative within the food sector. However, following this review, it is acknowledged that further exploration is needed into other market opportunities regarding potential products derived from this fiber, along with appropriate marketing strategies, in order to promote its regular inclusion in the human diet.

## **INTRODUCCIÓN**

En una dieta equilibrada y saludable, se considera que los componentes más importantes son los macronutrientes, ya que proporcionan energía al cuerpo, son fundamentales para el crecimiento, mantenimiento y funcionamiento adecuado de los tejidos y sistemas corporales (Mozaffarian y Forouhi, 2018). Dentro de los macronutrientes está la fibra dietética, un componente indispensable para la salud digestiva que ayuda a regular los movimientos intestinales, prevenir el estreñimiento y controlar el peso aumentando la sensación de saciedad (Bottan, 2025). Una mayor ingesta de fibra dietética reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II, algunos tipos de cáncer y mejora el sistema inmune. Los efectos que se atribuyen al consumo de fibra dietética están relacionados con su capacidad prebiótica, laxante y protectora (Reynolds *et al.*, 2019). La fibra dietética se define como la parte comestible de los alimentos vegetales que resiste la digestión y absorción en el intestino delgado humano y, por lo tanto, llega al intestino grueso intacta (Figuroa, 2019). Se compone de componentes, como celulosa, hemicelulosa, pectinas, gomas y mucílagos, con diferentes funcionalidades físicas y químicas (Lira, 2016). La clasificación de la fibra varía según su aplicación, ya sea en nutrición animal o humana. En animales, se utilizan parámetros como fibra

detergente neutra (FDN), fibra detergente acida (FDA) y fibra cruda (FC) y cuando se trata de la dieta humana, la fibra se evalúa como fibra dietética total (FDT), fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS). En donde la FDT se refiere a la suma entre FDI y FDS, y representa la totalidad de la fibra presente en un alimento (D'Amaro, 2023). La determinación de la fibra dietética implica el uso de enzimas específicas para digerir sus componentes y medir la cantidad que está presente en los alimentos (Tobaruela *et al.*, 2018). La remolacha azucarera (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*) como su nombre lo indica, se ha utilizado como fuente de sacarosa para la producción de azúcar refinada. Sin embargo, la población demanda alimentos nutraceuticos y sostenibles, que potencialmente podrían obtenerse de remolacha azucarera. Existe una fracción fibrosa resultante del proceso de extracción de azúcar que suele ser destinada a usos de bajo valor agregado, sin embargo, esta pulpa residual rica en fibra dietética podría representar una alternativa valiosa para el desarrollo de nuevos productos alimentarios. Sería pertinente explorar su potencial como un recurso alimentario emergente, considerando su disponibilidad, composición y posibilidades de valorización (Polenta, 2023). El objetivo de esta revisión es describir la importancia de la fibra dietética de remolacha azucarera como potencial ingrediente para la alimentación humana y su efecto en la salud, evaluando su impacto potencial en la agroindustria.

## **DESARROLLO Y DISCUSIÓN**

### **CAPÍTULO 1: Fundamentos Teóricos**

#### **1.1 Concepto, definición y características de la fibra dietética**

La Asociación americana de química de los cereales (AACC) propone la definición de fibra dietética más aceptada, en la cual se define como “la parte comestible de los alimentos de procedencia vegetal que son resistentes a la digestión y/o absorción en el intestino delgado, presentando una fermentación parcial o completa en el intestino grueso” (López, 2017). En nutrición humana, la fibra dietética es una categoría de componentes vegetales existentes en alimentos resistentes a la digestión enzimática en el tracto gastrointestinal humano que se caracteriza según sus propiedades coligativas y puede clasificarse en dos grupos: fibra soluble

(fermentable y viscosa) y fibra insoluble (escasamente fermentable y no viscosa) (Abreu *et al.*, 2021). La fibra soluble, incluye principalmente pectinas, gomas y mucílagos, son de fácil degradación por la microflora intestinal del colon (alto grado de fermentación) y su viscosidad se asocia a su capacidad de retención de agua formando geles que retardan el vaciamiento gástrico y enlentecen el tránsito intestinal (Zabaleta y Teresa, 2021). Por otro lado, la fibra insoluble es principalmente celulosa, lignina y algunas hemicelulosas que se encuentran en todos los alimentos de origen vegetal y son resistentes a la degradación por las bacterias presentes en el colon, por lo que se excretan en las heces casi íntegras (bajo grado de fermentación). Éstas al retener agua aumentan la masa fecal, la motilidad gastrointestinal y el peso de las deposiciones (Calizaya *et al.*, 2023). En la Tabla 1, se muestra la relación entre distintas propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética y los efectos fisiológicos que generan en el organismo.

Tabla 1. Relación entre las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética y sus efectos fisiológicos.

<b>Propiedad Fisicoquímica</b>	<b>Efecto Fisiológico</b>
Viscosidad	Sensación de saciedad. Disminución de la absorción de nutrientes Descenso del colesterol plasmático.
Capacidad de retención de compuestos orgánicos	Descenso de la absorción de nutrientes. Descenso del colesterol plasmático.
Susceptibilidad a la fermentación bacteriana	Descenso del colesterol plasmático. Aumento del tránsito intestinal. Aumento del peso de las heces.
Capacidad de retención de agua	Aumento del peso de las heces.
Capacidad de intercambio iónico	Descenso de la absorción de cationes.

Fuente: Elaboración propia, con datos de Vilcanqui y Vilches (2017), Mamani *et al.* (2023) y Guzmán (2020).

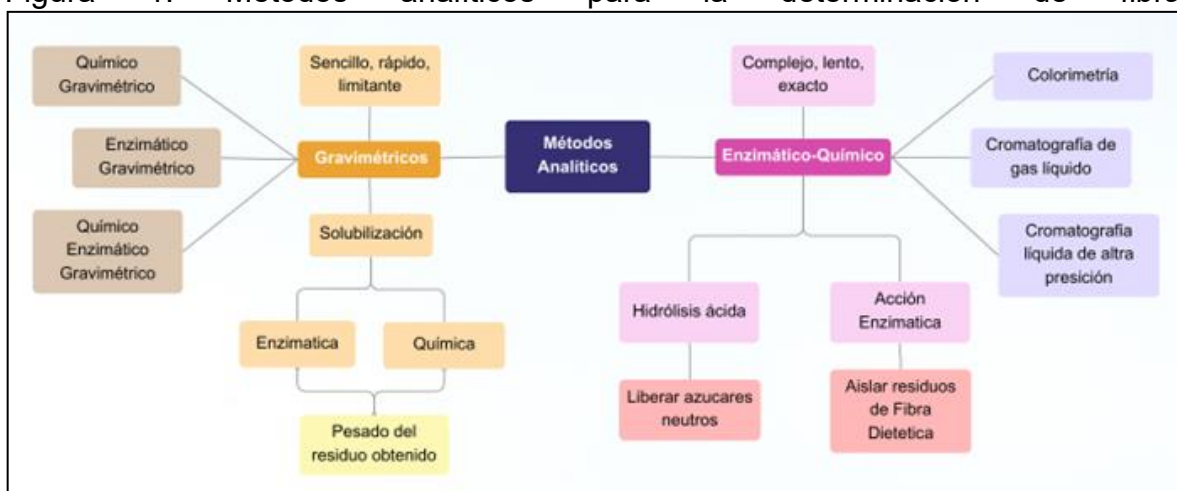
## 1.2 Métodos de determinación de la fibra dietética

Las primeras técnicas usadas para determinar fibra dietética en alimentos utilizaban métodos indirectos, comparando con otros componentes del alimento, y con el método de “fibra cruda” de la AOAC (2011). Sin embargo, este método tenía limitaciones, ya que no podía determinar las cantidades de lignina, celulosa y hemicelulosa (Jaimes *et al.*, 2018). Otros investigadores, propusieron utilizar detergentes para obtener una estimación de forma más rápida y precisa de estos componentes, desarrollando los métodos de determinación como la fibra detergente neutra y detergente ácida (Van Soest *et al.*, 1991). Este avance fue crucial por dos motivos. En primer lugar, en los componentes de la pared celular de las plantas se encuentran los carbohidratos más resistentes a la digestión y se lograron identificar. En segundo lugar, permitió determinar el contenido de fibra de los forrajes utilizados en la alimentación del ganado (Jaramillo, 2015).

Los métodos gravimétricos son ampliamente usados en la estandarización de procesos y útil en nutrición animal. Son sencillos y rápidos, se basa en medir el residuo compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, que queda después del tratamiento de los componentes no fibrosos con soluciones enzimáticas o químicas (Espinoza *et al.*, 2022). Los métodos enzimático-químicos son más exactos y específicos, consisten en aislar los residuos de fibra dietética mediante acción enzimática simulando el proceso digestivo humano, permiten cuantificar por separado la fibra soluble e insoluble, se basan en la liberación los azúcares neutros presentes en los polisacáridos de la fibra a través de una hidrólisis ácida (Grossi *et al.*, 2016).

Actualmente, la determinación de la fibra dietética en humanos se da mediante métodos enzimático-químicos, que permiten una evaluación más completa y precisa de la fibra dietética en la nutrición humana (Martin, 2021). En la Figura 1 se presenta un diagrama que resume las principales características de los métodos analíticos empleados históricamente para la determinación de fibra, tanto en nutrición animal como humana.

Figura 1. Métodos analíticos para la determinación de fibra



Fuente: Elaboración propia, con datos de Martin (2021), Espinoza et al. (2022) y Grossi (2016).

### 1.3 Importancia de la fibra en la alimentación humana y la salud

La fibra dietética produce efectos fisiológicos benéficos a la salud, como mejoras en la salud intestinal, el control de índice glicémico, la reducción de colesterol, el control de peso e incremento de la absorción de minerales (Tabla 1). Al ser resistente a la digestión en el tracto gastrointestinal, llega considerablemente intacta al colon, que es el lugar en donde se desencadena la fermentación, la cual aporta al mantenimiento y desarrollo de la flora bacteriana en el tracto intestinal, particularmente de los géneros *Bifidobacterium*, *Enterococcus* y *Lactobacillus* creando un ambiente que se ha descrito tradicionalmente como “más saludable” debido a sus efectos prebióticos (Calizaya et al., 2023). Afecta, de manera independiente, a la respuesta glicémica, debido a su influencia directa en la secreción de hormonas digestivas como la colecistocinina y el péptido glucagón. Estas hormonas desempeñan un papel fundamental como agentes que inducen la sensación de saciedad y como reguladores de la homeostasis de la glucosa (Buigues, 2023); así mismo, forman ácidos grasos de cadena corta en el intestino grueso inhibiendo la enzima HMG-CoA reductasa, evitando que se produzca colesterol por la vía del mevalonato y utilizando el colesterol circulante disponible, lo que genera una disminución en los niveles de colesterol total en sangre (Guzmán y Zorilla, 2020). Un mayor contenido de fibra dietética en el bolo alimenticio implica un retraso en el vaciamiento gástrico, lo cual tiene una incidencia directa sobre el

control del apetito, por lo tanto, una disminución en la cantidad de calorías ingeridas. Este mecanismo, combinado con la sensación de saciedad, se traduciría como una estrategia eficaz para favorecer el control del peso corporal y prevenir el sobrepeso y la obesidad. Además, conserva la integridad estructural y la funcionalidad de las células epiteliales, lo cual resulta esencial para garantizar la adecuada absorción y el metabolismo de los nutrientes (Ballesteros y González, 2018).

Tabla 2. Fuentes de fibra dietética, características y efectos reportados para la salud humana.

Fuente	Tipo de Fibra	Características	Efectos de uso reportados	Referencia
Caña de azúcar	Insoluble	Subproducto de la industria azucarera.	Mejora el tránsito intestinal, efecto saciante y control del colesterol.	Miao <i>et al.</i> (2020)
Remolacha roja	Soluble	Rica en compuestos bioactivos como polifenoles y nitratos.	Efectos antioxidantes, antiinflamatorios y vasodilatadores	Ceclu y Nistor (2020)
Remolacha forrajera	Insoluble	Alto contenido de lignocelulosas.	Falta evidencia en humanos.	Oliveira <i>et al.</i> (2021)
Acelga	Insoluble	Hojas con alto contenido de fibra dietética y minerales (K, Mg, Ca).	Potencial cardioprotector, regulador de glucosa	Gambaa <i>et al.</i> (2020)

Fuente: Elaboración propia, con datos en base a referencia

#### 1.4 Recomendaciones nutricionales de uso de fibra dietética

Las recomendaciones sobre el consumo de fibra varían según el país, no existe un consenso establecido. En la práctica, la mayoría de las personas no alcanza estas cifras. Esta deficiencia puede conducir a problemas digestivos, metabólicos y de sobrepeso. Por otro lado, el exceso de fibra (aunque poco frecuente) puede interferir con la absorción de minerales como calcio, hierro y zinc, además de causar distensión o gases (Gutierrez *et al.*, 2021). En la Tabla 3, se resume las

recomendaciones de fibra dietética para humanos de diferentes edades y condiciones basados en las pautas nutricionales.

Tabla 3. Recomendaciones dietéticas de fibra para seres humanos, según grupo poblacional.

Grupo población	Edad (años)	Recomendación diaria (g día <sup>-1</sup> )	Observaciones
Niños	2 – 6	5 – 10	Aumentar gradualmente con la edad
Niños	7 – 14	12 – 19	Aumentar según requerimiento de crecimiento
Adolescentes	15 – 18	20 – 23	Mantener el consumo constante para apoyar el desarrollo
Adultos	19 – 50	24 – 50	Ideal para regulación digestiva y prevención de enfermedades crónicas
Embarazadas	Todas las edades	30 – 35	Beneficios adicionales en control de glucemia y tránsito intestinal
Adultos mayores	> 50	Hasta 30	Se recomienda moderación para evitar problemas de absorción de minerales

Tabla 3: Elaboración propia, con datos de Bustos y Medina, (2020).

## **CAPÍTULO 2: Beneficios de la fibra dietética de remolacha azucarera**

### **2.1 Composición de la fibra dietética en la remolacha azucarera**

La remolacha azucarera podría desempeñar un papel fundamental en la promoción de la salud humana. Sobre todo, considerando el creciente interés en los posibles

beneficios para la salud que esta fuente de fibra puede ofrecer (Saldaña *et al.*, 2020).

La fibra dietética de la remolacha azucarera se compone principalmente de celulosa (22 – 24 %), hemicelulosas (30 %) y pectina (25 %), constituyendo cerca del 70 – 80 % del contenido total de fibra en la pulpa (Hardland, 2018). Entre las fibras solubles, la pectina es el componente más relevante y está compuesta por homogalacturonano y rhamnogalacturonano I y II, así como por azúcares tales como, galactosa, arabinosa, ramnosa y ácido ferúlico. Su estructura le confiere propiedades emulsificantes y capacidad de formar geles (Larsen *et al.*, 2019). Estos componentes de la fibra de remolacha azucarera son altamente fermentables y viscosos, permiten retardar el vaciado gástrico y reducir la velocidad del tránsito intestinal, evaden la digestión tanto en el estómago como en el intestino delgado, fermentándose rápidamente en el intestino grueso y aportando algunas calorías (Altamirano *et al.*, 2015 y Villanueva, 2018). A través de procesos de hidrólisis química, la pectina genera oligosacáridos funcionales que han demostrado tener efectos prebióticos estimulando el crecimiento de *Bifidobacterium* spp. y *Lactobacillus* spp., además en condiciones in vitro su fermentación demostró una alta producción de ácido propiónico (43,3 mmol) (Larsen *et al.*, 2019).

Respecto de la fibra insoluble de la remolacha azucarera, contribuye significativamente al volumen y peso de las heces, ya que es escasamente descompuesta por las bacterias en el colon, lo que conduce a la retención de agua y favorece la motilidad gastrointestinal (Williams *et al.*, 2017). No se disuelve en agua ni se digiere en el estómago o intestino delgado. Atraviesa el tracto gastrointestinal prácticamente en su forma original, presentando una mezcla de baja viscosidad, y, por lo tanto, no aporta calorías (Ibrahim y Menkovska, 2022).

## **2.2 Ruta metabólica de la fibra dietética en el cuerpo humano**

Como resultado de la fermentación bacteriana, se generan diversos subproductos, como el hidrógeno, dióxido de carbono, gas metano, energía y algunos ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como el acético, propiónico y butírico (Barilaro, 2024). De los cuales el butirato se destaca como el sustrato energético preferido de

los colonocitos, lo que incide significativamente en su funcionamiento, siendo una de sus funciones inhibir las deacetilasas de histonas, teniendo así una acción benéfica en diferentes enfermedades neurológicas como Parkinson, demencia, Alzheimer, depresión y adicciones (Gandarillas *et al.*, 2023).

**Control glicémico.** Los ácidos grasos de cadena corta se generan en el proceso de metabolización del ácido pirúvico, específicamente a partir de la glucosa en la vía metabólica de Embden-Meyerhoff (Glucólisis). Una de estas vías produce propionato a partir de succinato, mientras que la otra vía convierte el piruvato en Acetil Coenzima A, que posteriormente se hidroliza para formar propionato o butirato (Negrete, 2015). El propionato desempeña un papel directo en el control de la glucosa, ya que inhibe la liberación de triacilglicéridos que contribuyen a la resistencia a la insulina (Ayala, 2025).

**Regulación del apetito y control de peso.** La ingesta de alimentos es regulada por señales hormonales, nerviosas y factores adipostáticos, integrados principalmente en el núcleo Arcuato del hipotálamo, allí diferentes poblaciones neuronales expresan receptores para la leptina e insulina, que son hormonas que transmiten la sensación de saciedad. La concentración plasmática de GLP-1, péptido YY (PYY), colecistoquinina (CCK) y nutrientes aumenta al ingerir fibras, lo que indirectamente reduce el apetito. Esto debido a que las bacterias presentes en la microbiota intestinal, fermentan la fibra hasta convertirla en glucosa, la cual mediante glucólisis se transforma en piruvato que se metaboliza en AGCC y estimula la secreción de GLP-1, CCK, PYY y leptina, e inhiben la secreción de grelina que aumenta el apetito. Al aumentar la sensación de saciedad, puede ayudar en la reducción de la ingesta calórica, lo que puede contribuir al control de peso y la prevención de la obesidad (Gutiérrez *et al.*, 2021).

**Reducción del riesgo de enfermedades.** El acetato y propionato son potentes activadores de los receptores acoplados a la proteína G, también conocidos como receptores de ácidos grasos libres (GPCR43), el cual se expresa principalmente en colonocitos, tejido adiposo, células del sistema inmune, sistema nervioso, páncreas y se co-expresa con el péptido 1 similar al glucagón (GLP-1) en las células

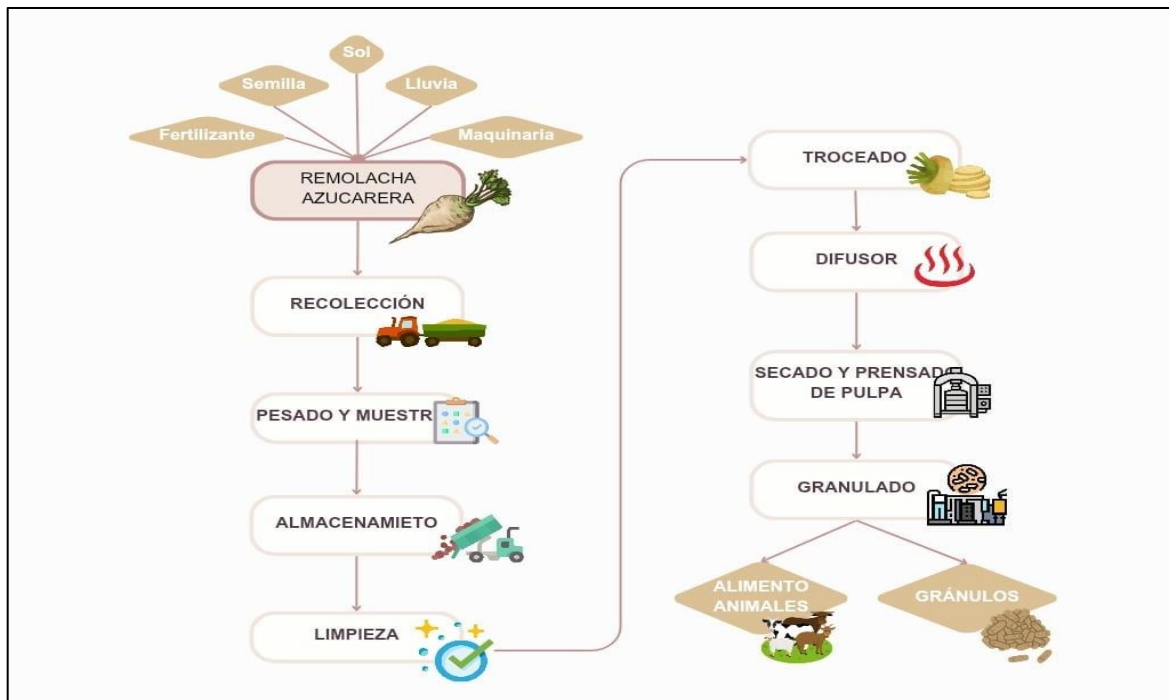
enteroendocrinas. En esta forma, se relaciona con el metabolismo de lípidos o glucosa, también en la respuesta del sistema inmune, es decir, actúa regulando la liberación de citoquinas e induciendo células T en el colon y por lo tanto contribuyendo al sistema inmune (Abreu *et al.*, 2021).

### **CAPÍTULO 3: Aspectos agroindustriales de la fibra dietética de Remolacha azucarera.**

#### **3.1 Procesos de obtención de la fibra de remolacha azucarera en la agroindustria**

El primer paso para la producción de azúcar consiste en recolectar los tubérculos y almacenarlos en grandes bodegas. Se lavan estas raíces de remolacha para eliminar todas las impurezas que pudiera traer del campo. Posterior a este lavado, cada tubérculo se corta en finas tiras denominadas coseta, para así facilitar el proceso de extracción del azúcar. Una vez que están completamente libres de residuos, se realiza un proceso de difusión en donde se depositan las cosetas en un tanque gigante, de acero generalmente, con agua a 72 °C, resultando en un jugo concentrado en azúcar y en pulpa fresca. Esta última, al poseer un contenido de agua cercano al 90 %, se prensa con el fin de evitar al máximo su fermentación y obtener una pulpa con mayor contenido de materia seca y pared celular en comparación con la remolacha misma (Muir y Anderson, 2022). En cuanto al jugo azucarado resultante, se somete a un proceso de limpieza y concentración para inducir la sobresaturación y cristalización del azúcar. Finalmente, mediante un centrifugado, los cristales de azúcar se separan del jugo azucarado, se comercializa el azúcar refinado, el jugo azucarado resultante pasa a ser un jarabe espeso llamado melaza, que junto con la pulpa de remolacha azucarera, ambos subproductos del proceso, se destinan a la alimentación animal (melaza) y la otra a la fermentación para la producción de alcohol, aminoácidos y levaduras (pulpa de remolacha azucarera) (Lalón y Molineros, 2017). En la Figura 2 se representa la secuencia de operaciones involucradas en el procesamiento de azúcar en base a la remolacha azucarera y la obtención de sus principales productos y subproductos.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso extracción de azúcar y fibra en Remolacha azucarera.



Fuente: Elaboración propia, con datos de Lalón y Molineros (2017).

### 3.2 Calidad y rendimiento de la fibra obtenida a partir de la remolacha azucarera

Existe poca literatura específica y científica que aborde la calidad y el rendimiento de la fibra dietética contenida en la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*) (Rodríguez *et al.*, 2024). Los valores cuantitativos asociados a la pulpa de remolacha azucarera varían según la fuente y el método de análisis, lo que dificulta la definición de un parámetro único, preciso y universal. No obstante, al analizar los datos reportados en diversas investigaciones, se logró evidenciar que existen valores similares, los cuales no difieren significativamente entre sí, permitiendo establecer un rango que, al expresarlos en base a su materia seca, refuerzan el valor de la fibra de remolacha azucarera como un fuente confiable de fibra dietética. En la Tabla 4, se comparan los principales parámetros relacionados con la fibra de la pulpa de remolacha azucarera reportados en según distintas fuentes bibliográficas.

Tabla 4. Comparación de parámetros de fibra de Remolacha azucarera

Referencias	Parámetros (g kg <sup>-1</sup> )			
	FDN	FDA	FDS	FDI
García <i>et al.</i> (2006)	450	-	-	-
Mateos <i>et al.</i> , (2006)	428	229	117	53,9
Fondevila (2015)	497	276	-	-
Carabaño <i>et al.</i> (1997)	460	220	-	-
Shang <i>et al.</i> (2019)	383	235	171	44,6
Zhao <i>et al.</i> (2020)	435	245	316	48,9

FDN: Fibra detergente Neutra; FDA: Fibra detergente ácida; FDS: Fibra dietética soluble; FDI: Fibra dietética insoluble. Fuente: Elaboración propia con los datos referenciados.

En este contexto, las fracciones de fibra utilizadas en nutrición animal, como la fibra detergente neutra (FDN), que se define como la fracción de la fibra vegetal compuesta por hemicelulosa, celulosa y lignina, y la fibra detergente ácida (FDA), que incluye principalmente celulosa y lignina (Fondevila, 2015). Son sustancias que también forman parte de la fibra dietética humana, especialmente en su fracción insoluble, por lo que es posible establecer una equivalencia estructural entre ambas clasificaciones, lo que permite interpretar parte del comportamiento fisiológico de estas fibras también en humanos (Rodríguez *et al.*, 2024). Una buena propuesta estaría centrada en estandarizar los métodos de y explorar cómo las condiciones de cultivo de remolacha pueden ocasionar variaciones en el rendimiento nutricional, para así reducir las discrepancias entre los estudios.

Según datos oficiales publicados por ODEPA para el año agrícola 2023/2024, la superficie cultivada con remolacha azucarera en Chile alcanza las 899 hectáreas, con una producción total de 30.305 quintales métricos (qqm) y un rendimiento promedio nacional de 33,7 (qqm ha<sup>-1</sup>), lo que equivale a 3,37 toneladas de raíces por hectárea (Pimentel, 2025). Por cada tonelada de raíces de remolacha

procesadas se obtienen entre 800 y 830 kg de pulpa fresca, que presenta un contenido de materia seca (MS) que varía entre 6 – 7 % (Rezic *et al.*, 2013). Considerando los estudios de Fondevila (2015) y Zhao *et al.*, (2020) la fibra dietética total de la remolacha azucarera representa en promedio el 75 %. A partir de estas referencias se puede estimar que la materia seca de la pulpa es de 52,975 kg MS, y por cada tonelada de raíces de remolacha azucarera procesada se genera aproximadamente 39,7 kg de fibra dietética total. Homologando los valores obtenidos con los datos de rendimiento agrícola nacional, se estima que el rendimiento aproximado de fibra dietética es de 134 kg ha cultivada (ODEPA, 2024; Pimentel, 2025; Fondevila, 2025 y Zhao *et al.*, 2020).

#### **CAPITULO 4: Aplicaciones prácticas y oportunidades para la inclusión de la fibra de remolacha azucarera en la industria alimentaria humana.**

##### **4.1 Revisión de estudios y casos exitosos: Oportunidades y desafíos para la producción.**

En la investigación “Desarrollo de Nuggets de soya (*Glycine max*) con pulpa de Betarraga (*Beta vulgaris*) para el aprovechamiento de materias primas agroindustriales” se buscó aprovechar las materias primas agroindustriales diseñando un alimento conveniente y saludable para los consumidores que llevan un estilo de vida acelerado, creando nuevos productos listos para preparar, facilitando su uso. En esta investigación, se reemplazó la carne de pollo tradicional usada en los Nuggets, por soya y pulpa de Remolacha, con el fin de ofrecer un nuevo producto de alta calidad y con características nutricionales mejoradas. Una ventaja de este producto sería su fácil digestión, en contraste con la carne roja, por su alto contenido de fibra y una opción para quienes, por su estilo de vida, no consuman carne animal (Banchón, 2021).

Por otro lado, en el estudio titulado “Producción de salchichas saludables: Una revisión de los sustitutos de origen vegetal para grasa, carne y sales” un grupo de investigadores analizó diferentes alternativas de origen vegetal con el propósito de disminuir el contenido de grasa y nitritos en las salchichas. Para ello, utilizaron como

ingredientes fibras liofilizadas, geles, gomas, harinas y aceites provenientes de vegetales para optimizar el perfil lipídico del producto. Los ensayos mostraron una buena aceptación en general y viable tanto desde el punto de vista nutricional como económico. Asimismo, los autores sugieren que incluso sin reemplazar los ingredientes convencionales para la preparación de salchichas (carne de cerdo) e incorporar estos compuestos liofilizados altos en fibra dietética podría ser una estrategia efectiva para mejorar la alimentación habitual de la población (Gutierrez y Siche, 2022).

En la tesis de postgrado “Obtención a nivel laboratorio de fibra alimentaria de los desechos orgánicos del banano (*Musa x paradisiaca*) provenientes de una fábrica de alimentos y su aceptabilidad como materia prima en la producción de galletas” se analizó el aprovechamiento de la fibra presente en la cáscara del banano. La autora planteó que el hecho de utilizar la fibra desecada de la cáscara del banano representaba una innovación, contribuiría a la reducción de desechos agrícolas, se podría abaratar costos de producción y también mejorar el perfil nutricional del producto final, por las propiedades organolépticas que mantendría la cáscara madura (Castellanos, 2021).

En la investigación de Flores Ulloa (2024), centrada en el uso de sustitutos parciales de harina de trigo en productos horneados, se identificaron problemas en cuanto a la textura, densidad y aceptabilidad sensorial, lo que requirió ajustes en la formulación para lograr productos finales con mejor desempeño y aceptación. El autor concluye que, “si bien estas alternativas pueden mejorar el perfil nutricional, su incorporación exitosa depende del equilibrio entre funcionalidad tecnológica y preferencia del consumidor, teniendo este último más protagonismo”. De manera similar, Calderón (2025) reportó que la inclusión de ingredientes funcionales como el tubérculo mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y un concentrado proteico de anchoveta en galletas, enriqueció significativamente su valor nutricional, aumentando los niveles de proteínas, de fibra dietética total y minerales como hierro, fósforo y zinc. Sin embargo, tuvo que hacer múltiples ajustes en la formulación por el impacto negativo que obtuvo en aroma, sabor y textura percibidos inicialmente

por los consumidores. Sólo después de optimizar el perfil sensorial se logró una intención de compra del 88 %.

Aprovechar la fibra dietética extraída de la remolacha azucarera no solo representaría una oportuna estrategia para combatir el desperdicio de alimentos y ofrecer beneficios para la salud humana. Explorar la fibra de remolacha azucarera como un ingrediente potencial en la dieta humana abre la puerta a la posibilidad de desarrollar alimentos funcionales o nutracéuticos (Valencia *et al.*, 2024). No obstante, también plantea desafíos tecnológicos, sensoriales y de estandarización que deben considerarse cuidadosamente durante el desarrollo industrial. Uno de los principales obstáculos es la variabilidad de la fibra, influenciada por las condiciones agroclimáticas, cosecha y procesamiento industrial, lo que dificulta la estandarización del producto final y su comportamiento en distintas formulaciones alimentarias (Potavota *et al.*, 2021). La fibra de remolacha azucarera con su elevada capacidad de retención de agua podría comprometer la crocancia y/o la estructura deseada si es que no se ajustan adecuadamente los niveles de hidratación. Estas modificaciones inciden directamente en la aceptabilidad sensorial del producto, requiriendo múltiples pruebas de formulación para alcanzar un perfil organoléptico satisfactorio para el consumidor (Berry, 2023).

#### **4.2 Análisis de las posibles aplicaciones de la fibra de remolacha azucarera en la industria alimentaria.**

En la industria alimentaria, buscar nuevas fuentes de fibra dietética es cada vez mayor, por los beneficios nutricionales y funcionales que pueden aportar. La fibra de remolacha azucarera sería una elección prometedora que se podría utilizar de manera similar para la mejora de productos alimentarios y beneficios tanto económicos como nutricionales, ofrece un rango de aplicaciones alimentarias con un gran potencial, tanto en el contexto de la salud pública como en el desarrollo de una economía sustentable (Caicedo, 2021).

La inclusión de la fibra azucarera en productos como galletas, harinas enriquecidas, batidos, nuggets, permitiría ofrecer alternativas que podrían dirigirse

a diferentes segmentos de consumidores. A personas interesadas en una alimentación saludable, los consumidores conscientes del impacto ambiental de sus elecciones y aquellos que llevan un estilo de vida acelerado que buscan opciones rápidas y nutritivas (Iglesias *et al.*, 2017). Además de los beneficios nutricionales descritos, estas fibras con la formulación adecuada mejoran la textura y la estabilidad de los productos alimenticios, por lo tanto, el perfil de este producto permitiría una destacada diferenciación en el mercado y al mismo tiempo identidad sobre su origen (Berry, 2023). La incorporación de la fibra de remolacha en los alimentos contribuiría a reducir el impacto ambiental de la producción agrícola en cuanto a recursos. Además de la fibra de remolacha azucarera, otros estudios han explorado el uso de fibras provenientes de diferentes fuentes vegetales siendo exitosos en el mercado (Flórez *et al.*, 2021).

Los estudios mencionados subrayan la importancia de investigar y desarrollar nuevas aplicaciones para las fibras vegetales en la fabricación de alimentos con propiedades únicas, la fibra de remolacha azucarera parece ayudar a optimizar los productos alimenticios y, a la vez, ofrecer beneficios económicos y sanitarios a sus involucrados. La fibra dietética de remolacha azucarera constituye un recurso prometedor, con beneficios relevantes para la salud humana como la motilidad del intestino, inhibidor del hipercolesterolemia, la hiperglicemia y en la promoción de la saciedad (Prandi *et al.*, 2018).

## **CONCLUSIONES**

Se destaca el potencial de la fibra dietética obtenida de la remolacha azucarera como un ingrediente funcional en la formulación de alimentos destinados a promover una mejor salud. Sus propiedades fisicoquímicas, permiten considerarla una herramienta útil en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles. Al igual que otras fibras naturales, puede utilizarse en el desarrollo de productos nutracéuticos y alimentos funcionales, contribuyendo a la diversificación de la oferta alimentaria saludable y al aprovechamiento de un subproducto que suele ser subestimado. Además, su incorporación en la cadena agroalimentaria fomenta prácticas más sostenibles, al valorizar residuos industriales y reducir el impacto ambiental. Se reconoce que la fibra dietética de remolacha azucarera no solo aporta

beneficios a la salud humana, sino que también representa una oportunidad para innovar en la industria alimentaria, desarrollando soluciones funcionales, sostenibles y alineadas con las nuevas demandas del consumidor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abreu, A., M. Milke, G. Arguello, A. Calderón de la Barca, R. Carmona, A. Consuelo, E. Coss, M. García, V. Hernández, M. Icaza, J. Martínez, S. Morán, E. Ochoa, M. Reyes, R. Rivera, F. Zamarripa, F. Zárate, R. Vázquez. (febrero, 2021). Fibra dietaria y microbiota, revisión narrativa de un grupo de expertos de la Asociación Mexicana de Gastroenterología. *Revista de Gastroenterología de México*, (3), 287 - 304. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2021.02.004>
2. Altamirano, E., J. Tráves, B. Chanducas. (diciembre, 2015). Efecto del consumo de chíá (*Salvia hispánica*) sobre los síntomas de estreñimiento que presentan los estudiantes de una universidad particular de Lima Este, 2014. *Revista científica de ciencias de la salud*, (2). Perú. Recuperado de: <https://doi.org/10.17162/rccs.v8i2.468>
4. Ayala, G. V. (2025). Microbiota intestinal y síndrome metabólico en la mujer. *Síndrome metabólico en la mujer*, 191.
5. Baky, M., M. Salah, N. Ezzelarab, P. Shao, M. Elshahed, M. Farag. (2022). Insoluble dietary fibers: structure, metabolism, interactions with the human microbiome, and role in gut homeostasis. *Critical reviews in food science and nutrition*, 64(7), 1954 - 1968. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2119931>
6. Ballesteros, M. & E. González. (2018). Papel de los prebióticos y los probióticos en la funcionalidad de la microbiota del paciente con nutrición enteral. *Revista Nutrición Hospitalaria*, 35(2), 18 - 26 Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.1956>
7. Banchón, K. (2021). Desarrollo de Nuggets de soya (*Glycine max*) con pulpa de remolacha (*Beta vulgaris*) para el aprovechamiento de materias primas agroindustriales Tesis de pregrado. Universidad agraria del Ecuador. Recuperado de: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BANCHON%20GARCIA%20KELLY%20MICHELLE.pdf>
8. Barilaro, C. (2024). Pretratamientos mecánicos y distribución granulométrica en la digestión anaerobia. *Anales de Ciencias Básicas, Físicas y Naturales*, (41), 59 - 88.
9. Berry, D. (2021). Formulating fiber-rich baked foods comes with challenges.

Baking & snack. 50 - 56. Recuperado de:  
<https://digitalbs.bakingbusiness.com/sosland/bs/baking-snack-may-2023/index.php#/p/50>

10. Bottan, M. (2025). El secreto está en el intestino: Recupera tu salud intestinal, controla tu peso y previene enfermedades. Tinta Libre Ediciones.
11. Buigues, A. (mayo, 2023). Modificaciones del eje neuroendocrino tras pérdida de peso, 17(1), 1 - 13. Artículo revista nutrición clínica en medicina. España. Recuperado de: DOI: 10.7400/NCM.2023.17.1.5117.
12. Bustos, E. & A. Medina. (junio, 2020). Recomendaciones y efectos de la fibra dietaria en niños. Revista chilena de nutrición, 47(3), 457 - 462. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000300457>. [Consulta: 28 de noviembre 2024].
13. Caicedo, M. (2021). Obtención de una Fuente de Fibra dietaria a partir de Residuos agroindustriales de Pasifloras. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80472> [Consulta: 28 de noviembre 2024]
15. Calderón, E. (2025). Características fisicoquímicas y estabilidad sensorial de galletas con mashua negra (*Trapaeolum Tuberosum*) y concentrado proteico de anchoveta (*Engraulis Ringens*). Universidad nacional del santa. Perú.
16. Calizaya, U., A. Sotelo & G. Chire. (2023). La fibra dietaria, importante componente fisicoquímico: un caso peruano. Tecnología Química, 43(3), 676 - 701. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852023000300676&lng=es&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852023000300676&lng=es&tlng=pt) [Consulta: 27 de octubre 2023]
17. Carabaño, R., C. Blas, J. García, N. Nicodemus & P. Pérez. (1997). Necesidades de fibra en conejos. Departamento de Producción Animal, ETSI Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: [https://fedna.biolucas.com/wp-content/uploads/2021/11/97CAP\\_IV.pdf](https://fedna.biolucas.com/wp-content/uploads/2021/11/97CAP_IV.pdf)
18. Castellanos, R. (2021). Obtención a nivel laboratorio de fibra alimentaria de los desechos orgánicos del banano (*Musa x paradisiaca*) provenientes de una fábrica de alimentos y su aceptabilidad como materia prima en la producción de galletas. Tesis doctoral, Universidad de San Carlos de Guatemala.
19. Ceclu, L. y Nistor, OV (2020). Remolacha roja: Composición y efectos sobre la salud: Una revisión. J. Nutr. Med. Diet Care, 6 (1), 1 - 9.
20. D'Amaro, D. A. (2023). Nuevas perspectivas sobre la presencia de fibra

dietaria con potencial efecto prebiótico en pseudocereales: amaranto, trigo sarraceno y quinua (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).

22. Espinosa, M. M. López, L. Casdelo (2022). Pretratamientos aplicados a biomásas lignocelulósicas: una revisión de los principales métodos analíticos utilizados para su evaluación. *Revista Cubana de Química*, 34(1), 87 - 110.
23. Figueroa, E. (2019). Geles de pectina con fibra dietaria. Aplicación en la elaboración de dulces de fruta saludables. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, Argentina. Recuperado de: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4524>
24. Fondevila, M. (2015). La importancia de los azúcares en la alimentación de los dulces de fruta saludables. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, Argentina. Recuperado de: [https://fedna.biolutucas.com/wp-content/uploads/2022/03/2015\\_CAP\\_I.pdf](https://fedna.biolutucas.com/wp-content/uploads/2022/03/2015_CAP_I.pdf)
25. Flores, D. (2024). Sustituto parcial de la harina de trigo para la elaboración de productos: revisión sistemática. *KANYÚ revista científica de ciencias agrícolas*. Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma. (2) Se compone de componentes, como celulosa, hemicelulosa, pectinas, gomas y mucílagos, con diferentes funcionalidades físicas y químicas (Lira, 2016).
26. Florez, M. Roldán, D. Omote, J. Molleda, A. (2021). Biofertilizers and biostimulants for agricultural and aquaculture use: Bioprocesses applied to organic by-products of the fishing industry. Facultad de Pesquería. Universidad Nacional agraria la Molina. Perú
27. Gamba, M., Raguindin, PF, Asllanaj, E., Merlo, F., Glisic, M., Minder, B., ... y Muka, T. (2021). Compuestos bioactivos y composición nutricional de la acelga (*Beta vulgaris* L. var. *cicla* y *flavescens*): una revisión sistemática. *Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y nutrición*, 61 (20), 3465-3480.
28. Gandarillas, M., M. Valenzuela, J. Molina, R. Arias, J. Keim. (2023). In Vivo Digestibility and In Vitro Fermentation of High Dietary Fiber Forages in Growing Pigs' Diets. 9(5), 448. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/fermentation9050448>. [Consulta: 19 de agosto 2024].
29. García, J., R. Carabaño, C. de Blas. & A. García. (2006). Importancia del tipo de fibra: nuevos conceptos y ejemplos para su aplicación en cunicultura. Departamento de Producción Animal, Barcelona. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/28179789Importancia\\_del\\_tipo\\_de\\_fibra\\_nuevos\\_conceptos\\_y\\_ejemplos\\_para\\_su\\_aplicacion\\_en\\_cunicul](https://www.researchgate.net/publication/28179789Importancia_del_tipo_de_fibra_nuevos_conceptos_y_ejemplos_para_su_aplicacion_en_cunicul)

tura. [Consulta: 03 de octubre 2024].

32. Grossi, G., E. Ohaco & A. de Michelis. (2016). Determinación de fibra dietética total, soluble e insoluble en hongos comestibles de cultivo *Pleurotus ostreatus*. Universidad Nacional del Comahue. Neuquen. Argentina.
33. Gutierrez, D., et al. (2021). Efectos de la fibra dietética en la reducción de factores de riesgo cardiovasculares asociados a la obesidad. *Revista Médica de Trujillo*, 16(2), 117 - 23. Recuperado de: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RMT/article/view/3641>
34. Gutierrez, M., & Siche, R. (2022). Producción de salchichas saludables: Una revisión de los sustitutos de origen vegetal para grasa, carne y sales. *Manglar*, 19(4), 379 - 389. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.57188/manglar.2022.048>.
35. Guzmán, L., & M. Zorrilla. (2020). Fuerza de Asociación entre el consumo de fibra dietética, riesgo cardiovascular, índice de masa corporal y colesterol total en adultos que acuden a consulta externa del Centro Materno Infantil Juan Pablo II en el año 2020. Tesis de pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae. Lima. Perú.
36. Ibrahim, O., M. Menkovska. (2022). Dietary Fibers-Classification, Properties, Análisis and Function: A review. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 13(12), 527 - 544. Recuperado de: doi: 10.4236/abb.2022.1312036.
37. Iglesias, M. E. Estrada, M. Bahamón. (2017). Oportunidades de mercado para alimentos nutraceuticos desde la psicología del consumidor. *Revista GEON*, 4 (2). 81 - 87. Colombia.
38. Jaimes, L., A. Giraldo y H. Correa. (2018). De Parmentier a Van Soest y más allá: Un analisis historico del concepto y metodos de determinacion de la fibra en alimentos para rumiantes. *Livestock Research of Rural Development*, 30(7), 1 - 9. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Hector-Correa-Cardona/publication/326170310\\_De\\_Parmentier\\_a\\_Van\\_Soest\\_y\\_mas\\_a\\_lla\\_un\\_analisis\\_historico\\_del\\_concepto\\_y\\_metodos\\_de\\_determinacion\\_de\\_la\\_fibra\\_en\\_alimentos\\_para\\_rumiantes/links/5b3c29b0a6fdcc8506eed54d.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hector-Correa-Cardona/publication/326170310_De_Parmentier_a_Van_Soest_y_mas_a_lla_un_analisis_historico_del_concepto_y_metodos_de_determinacion_de_la_fibra_en_alimentos_para_rumiantes/links/5b3c29b0a6fdcc8506eed54d.pdf)
39. Jaramillo, O. y O. Seberino. (2015). Composición química, valor nutritivo y cinética de degradación in-vitro del *Pennisetum purpureum* var. CT-115 Cosechada a tres intervalos de corte.
40. Lalón, M. & N. Molineros. (2017). Diseño preliminar del proceso de extracción de azúcar de remolacha empleando equipos pilotos en el laboratorio de

operaciones unitarias. Tesis de licenciatura. Guayaquil. Ecuador.

41. Larrosa, S. (2021). Efectos sobre la salud de la ingesta de fibra y su adecuación a las recomendaciones en niños europeos. Tesis doctoral. Universitat Rovira i Virgili. p. 13. España.
42. Lira, A., S. Pacual & M. Trejo. (2016). Fibra para el futuro: Propiedades y beneficios. En M. Ramírez Ortiz (Ed.). Alimentos funcionales de hoy. Barcelona, España: OmniaScience. 1 - 34. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8622445>
43. Liu, T., X. Zhen, H. Lei, J. Li, Y. Wang, D. Gou & J. Zhao. (2024). Investigating the physicochemical characteristics and importance of insoluble dietary fiber extracted from legumes: An in-depth study on its biological functions. National Center for Biotechnology Information. 22. China
44. López, M. (2017). Caracterización de Fibras Dietéticas Procedentes de Coproductos Agroindustriales para su Aplicación como Producto Alimentario Intermedio en Alimentos Enriquecidos en Fibra: Propiedades Tecno funcionales y Fisiofuncionales. Tesis doctoral, Universidad Miguel Hernández. Alicante. España.
45. Martín, A. (2021). Estado actual del Concepto de Fibra alimentaria y de los métodos de análisis. Tesis, Facultad de Farmacia. Universidad De La Laguna. España.
46. Mateos, G., R Lázaro, J. González, E. Jiménez, & B. Vicente. (2006). Efectos de la fibra dietética en piensos de iniciación para pollitos lechones. FEDNA, Departamento de Producción Animal, Universidad Politécnica de Madrid. Barcelona. España.
47. Miao, L., Fengjie, Z., Lei, N., Yan, S., Ruohan, W., Tianyu, Z., ... y Yuhang, L. (septiembre, 2016). Fibra dietética de bagazo de caña de azúcar como terapia adyuvante para la enfermedad pulmonar obstructiva crónica estable: un estudio aleatorizado, doble ciego y controlado con placebo en cuatro centros. Revista de Medicina Tradicional China, (4), 418 - 426.
48. Mozaffarian, D., & N. Forouhi. (2018) Dietary guidelines and health - is nutrition science up to the task? National Center for Biotechnology Information. 360, k822.
49. Muir, B., y Anderson, A. (2022). Development and diversification of sugar beet in Europe. Sugar Tech, 24(4), 992 - 1009. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s12355-021-01036-9>
50. Negrete, J. (2015). Efecto de la adición de un producto peletizado elaborado a base de subproductos agroindustriales sobre la concentración de ácidos

grasos volátiles en líquido ruminal en ovinos. Tesis de pregrado. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

51. Oliveira, S. Nascimento, H. Sampaio, K. y Souza, E. (2021). Una revisión sobre los compuestos bioactivos de la remolacha (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris*), con especial énfasis en sus efectos beneficiosos sobre la microbiota intestinal y la salud gastrointestinal. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* , 61 (12), 2022 - 2033.
53. Pimentel, I. (2025) Índice de cultivos anuales. ODEPA. Chile (Consultado: 25 mayo 2025). Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12650/73965>
54. Polenta, G. (2023). Aprovechamiento de subproductos frutihortícolas como alternativa para la prevención del PDA. La sustentabilidad de frutas y hortalizas: minimizando su pérdida y desperdicio. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México 1, 199 - 218.
55. Potapova, G. N. Zezin, N. Zobnina y M. Ivanova. (2021). Promising breeding material of winter triticale in the conditions of the Middle Urals. *Bio Web of Conferences* (36). Rusia
56. Prandi, B., S. Baldassarre, N. Babbar, E. Bancalari, P. Vandezande, D. Hermans, G. Bruggeman, M. Gatti, K. Elst, and S. Sforza. 2018. Pectin oligosaccharides from sugar beet pulp: Molecular characterization and potential prebiotic activity. *Food & Function* 9 (3): 1557 - 69. doi: 10.1039/c7fo01182b.
57. Quiroz, F. Rojas, S. Olivares J., Hernández-Castro, E., Jiménez-Guillén, R., Córdova-Izquierdo, A., ... & Abdel-Fattah, S. (2015). Composición nutricional, consumo e índices de palatabilidad relativa de los frutos de tres acacias en la alimentación de ovejas y cabras. *Archivos de medicina veterinaria*, 47(1), 33 - 38.
59. Reynolds, A., J. Mann, J. Cummings, N. Winter, E. Mete, & L. Morenga. (2019). Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses. *The Lancet*, 393(10170), 434 - 445.
60. Rodríguez, B., N. Arriaga, J. Ariza, N. Cruz. (2024). Xoconostle (*Opuntia* spp.) y Capulín (*Prunus serotina* spp.): frutos tradicionales con alto valor nutricional y beneficios a la salud. *South Florida Journal of Development*, Miami, 12(5), 01 - 18. Recuperado de: <https://ojs.southfloridapublishing.com/ojs/index.php/jdev/article/view/4826/3285>. [Consultado: 23 de marzo 2025].
61. Saldaña, P., S. Bastida., A. Macho., F. Sánchez. (2020). Alimentos funcionales como alternativa para incrementar la ingesta de fibra dietética y proantocianidinas. Posibles efectos sobre la microbiota intestinal.

Departamento de Nutrición y Ciencia de los Alimentos. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. España. Recuperado de: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S2529-850X2020001200010&script=sci\\_arttext](https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S2529-850X2020001200010&script=sci_arttext). [Consultado: 04 de abril 2024].

65. Shang, Q., X. Ma, H. Liu, S. Liu & X. Piao. (2019). Efecto de las fuentes de fibra sobre el rendimiento, parámetros séricos, morfología intestinal, actividades enzimáticas digestivas y microbiota en cerdos destetados. *Archives of Animal Nutrition*, 10(1), 1 - 17. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/1745039x.2019.1684148>. [Consultado: 18 de noviembre 2024].
66. Tobaruela, E., A. Santos, L. de Almeida, E. Araujo, F. Lajolo & E. Menezes. (2018). Application of dietary fiber method AOAC 2011.25 in fruit and comparison with AOAC 991.43 method, *Food Chemistry*, 238, 87 - 93. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.068>. [Consulta: 31 de agosto 2024].
67. Valencia, G. L. Martin, E. Paulsen, O. Ferreiro, N. Bogdanoff, J. Perilla, S. Duarte. (2024) Capítulo 3. Recubrimientos de barrera biopoliméricos con materiales celulósicos y su potencial aplicación como envase de alimentos. *Innovación en biomateriales sustentables para un mundo mejor*, 73.
68. Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
69. Vilcalqui, F., C. Vilches. (2017) Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Recuperado de: [https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222017000200010&script=sci\\_arttext](https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222017000200010&script=sci_arttext)
70. Villanueva, R. (2018). Dietary fiber: An alternative for nutrition (p. 6). Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337461321011>. [Consultado: 02 de septiembre 2024].
71. Villafán, D., D. Betancur, y S. Gallegos. (junio, 2024). Freeze-dried pulp and peel from pitahaya (*Selenicereus undatus*): physicochemical properties and a potential source of fructooligosaccharides. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, (1), 80 - 94. Recuperado de: <https://doi.org/10.23850/24220582.6231>
72. Vinelli, V., P. Biscotti, D. Martini, C. Del Bo', M. Marino, T. Meroño y P. Riso. (2022). Efectos de la fibra dietética en los ácidos grasos de cadena corta y la composición del microbiota intestinal en adultos sanos: una revisión sistemática. *Nutrients*, 14 (13), 2559. Recuperado de:

<https://www.mdpi.com/2072-6643/14/13/2559>

73. Williams, B., Grant, L., Gidley, M., & Mikkelsen, D. (septiembre, 2017). Gut Fermentation of Dietary Fibers: Physico-Chemistry of Plant Cell Walls and Implications for Health. *International Journal of Molecular Sciences*, (10), 2203. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/ijms18102203>.
74. Diaz Zavaleta, P. T. (2021). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales como prebióticos.
75. Zhao, J., Y. Bai, G. Zhang, L. Liu & C. Lai. (2020). Relationship between dietary fiber fermentation and volatile fatty acids concentration in growing pigs. *Animals* 10, 1 - 14. China. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/ani10020263>. [Consultado: 02 de septiembre 2024].