



Aplicaciones funcionales y tecnológicas de las proteínas del lactosuero en la Industria de Alimentos

Functional and technological applications of whey proteins in the food industry

Jesús David Sandoval Delgado¹

¹ Departamento de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de Piura. Facultad de Ingeniería Industrial. Campus Universitario, Urb. Miraflores s/n, Castilla, Piura, Piura, Perú.

ORCID de los autores:

J. D. Sandoval Delgado: <https://orcid.org/0009-0005-2272-7897>

RESUMEN

El lactosuero es un subproducto de la industria láctea con alto valor nutricional, principalmente debido a su fracción proteica, compuesta por β -lactoglobulina, α -lactoalbúmina, inmunoglobulinas, lactoferrina, entre otras. Estas proteínas poseen propiedades funcionales como solubilidad, emulsificación, gelificación y capacidad espumante, lo que les permite ser utilizadas en una amplia variedad de aplicaciones alimentarias. En la industria de alimentos, las proteínas del lactosuero se emplean en bebidas funcionales, productos lácteos, panificación, cárnicos y suplementos nutricionales, mejorando la textura, estabilidad y perfil nutricional de los productos. Además, diversos estudios han destacado sus beneficios para la salud, incluyendo su papel en el mantenimiento de la masa muscular, la modulación del sistema inmunológico y la saciedad. Sin embargo, aún existen desafíos en su aprovechamiento, como la optimización de los métodos de extracción, la percepción del consumidor y la sostenibilidad de su uso a gran escala. Este artículo de revisión analiza los componentes proteicos del lactosuero, sus propiedades funcionales y su aplicación en la industria de alimentos, destacando las innovaciones recientes y las perspectivas futuras en este campo.

Palabras clave: Lactosuero; proteínas; propiedades funcionales; aplicaciones alimentarias; innovación.

ABSTRACT

Whey is a dairy industry by-product with high nutritional value, mainly due to its protein fraction, composed of β -lactoglobulin, α -lactalbumin, immunoglobulins, lactoferrin, among others. These proteins have functional properties such as solubility, emulsification, gelation and foaming capacity, which allows them to be used in a wide variety of food applications. In the food industry, whey proteins are used in functional beverages, dairy products, baking, meat products and nutritional supplements, improving the texture, stability and nutritional profile of the products. In addition, various studies have highlighted its health benefits, including its role in maintaining muscle mass, modulating the immune system and satiety. However, there are still challenges in its use, such as optimizing extraction methods, consumer perception and the sustainability of its use on a large scale. This review article discusses the protein components of whey, their functional properties and their application in the food industry, highlighting recent innovations and future prospects in this field.

Keywords: Whey; proteins; functional properties; food applications; innovation.

1. Introducción

El suero de queso, obtenido como resultado de la separación de la caseína en el proceso de elaboración del queso, es una mezcla compleja y nutritiva de proteínas que presentan diversas propiedades químicas, físicas y funcionales (Abish et al., 2024). Dentro de sus proteínas más destacadas se incluyen la beta lactoglobulina (β L), alfa lactoalbúmina (α L), albúmina sérica de ganado, lactoferrina e inmunoglobulinas. Además, poseen dosis mínimas de lactosa, minerales y vitaminas (Su & Cavaco-Paulo, 2021). Los progresos tecnológicos contemporáneos han permitido convertir el suero de queso en una diversidad de productos, proporcionando soluciones tanto para su uso como para la administración de desechos líquidos (Aldana, 2022). Las proteínas del suero de queso han hallado usos en el campo de la biotecnología, aportando al desarrollo de productos de gran valor añadido (Asas et al., 2021).

En los procesos industriales, una considerable cantidad de esta proteína se transforma en polvo o, alternativamente, se desecha, lo que obstaculiza el uso óptimo de su valor añadido y provoca una considerable contaminación del medio ambiente, lo que supone un derroche de recursos. Las características funcionales de la proteína pueden optimizarse alterando su estructura a través de técnicas químicas, fermentativas o enzimáticas (Su & Cavaco-Paulo, 2021).

Desde el punto de vista funcional, las proteínas del lactosuero contribuyen de manera significativa a la formación y estabilización de emulsiones debido a sus superficies hidrofóbicas que interactúan con las fases lipídicas, y a la formación de espumas estables utilizadas en productos de panadería y confitería. Su capacidad para formar geles bajo condiciones adecuadas eleva su valor como agentes texturizantes y estabilizadores en productos cárnicos y lácteos procesados (Delgado-Macuil et al., 2025). Por esta razón, la exploración de opciones para el uso de este subproducto se ha transformado en una prioridad a escala nacional. Es vital valorar correctamente el lactosuero como un recurso nutricional de gran relevancia, no solo para la alimentación de los animales, sino también por sus diversas aplicaciones en la dieta humana, respaldadas por su elevado contenido de nutrientes (Asas et al., 2021).

La limitada utilización de este componente de la industria lechera se atribuye, en gran medida, al

desconocimiento de ciertos productores acerca de sus ventajas nutricionales, además de las restricciones en el acceso a tecnologías apropiadas para su gestión y procesamiento (Torres-Martínez et al., 2020).

Esta revisión trata aspectos generales, nutricionales y usos del suero lácteo en el sector alimentario, con la finalidad de fomentar su empleo como un subproducto de gran valor nutricional y con enorme potencial para la creación de nuevos alimentos. En los años recientes, el interés por los derivados del lactosuero ha aumentado notablemente debido a su elevado valor nutricional, sus propiedades tecno-funcionales y sus efectos bioactivos, consolidándolo como un componente esencial en múltiples aplicaciones (Aldana, 2022).

2. Definición y características del lactosuero

2.1. Suero lácteo

También conocido como suero de queso o lactosuero, es un subproducto acuoso de tonalidad amarillo verdoso y apariencia semitransparente, obtenido tras la coagulación de las proteínas lácteas en el proceso de fabricación del queso (Lizárraga-Chaidez et al., 2023).

La Figura 1 muestra un diagrama exhaustivo del procedimiento y las operaciones unitarias relacionadas con la producción del lactosuero.

De acuerdo con el Codex Alimentarius, el suero de leche es un producto lácteo en estado líquido que se genera como resultado de la elaboración del queso u otros derivados similares. Se obtiene tras separar la cuajada luego de la coagulación de la leche o sus componentes, un proceso que ocurre principalmente por la acción de enzimas coagulantes, como el cuajo (Chen et al., 2023).

2.2. Composición de lactosuero

El lactosuero está formado en un 94% - 96% por agua, lo que le confiere su peculiar fluidez (Asas et al., 2021). Incluye desde un 0,6% hasta un 1,0% de proteínas con gran valor biológico, tales como la beta-lactoglobulina, alfa-lactoalbúmina, inmunoglobulinas y lactoferrina, que aportan significativas ventajas nutricionales e inmunológicas (Aponte Colmenares et al., 2023). En cuanto a su contenido de carbohidratos, la lactosa representa aproximadamente un 4,5% - 5,0%, actuando como fuente de energía; sin embargo, su inadecuada gestión puede ocasionar impactos ambientales negativos (Asas et al., 2021).

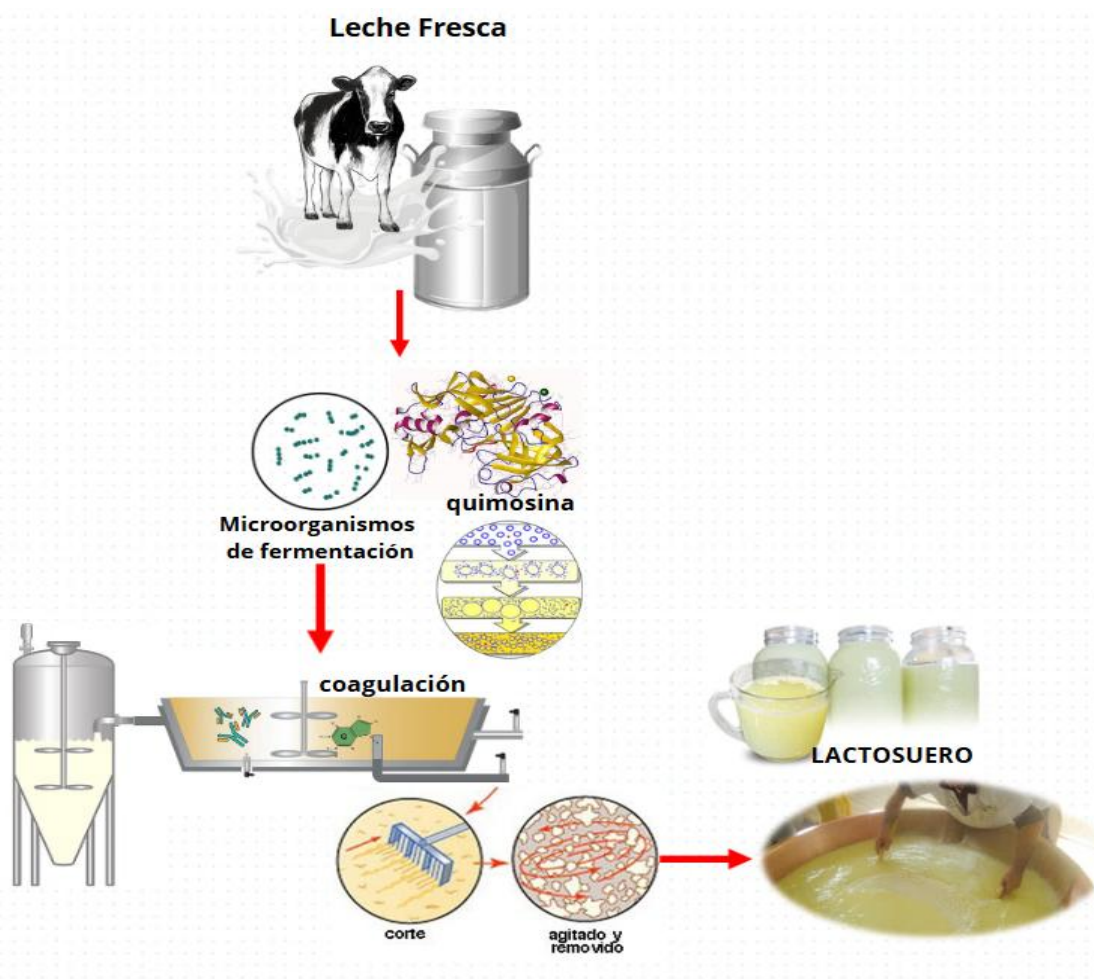


Figura 1. Proceso de obtención del Lactosuero. / **Figure 1.** Whey production process.

El lactosuero aporta entre un 0,5% y 1,0% de minerales esenciales, como calcio, potasio, fósforo, sodio, cloro y magnesio, los cuales desempeñan un papel fundamental en diversas funciones biológicas (Minj & Anand, 2020). A pesar de su bajo contenido de grasa (0,2% - 0,4%), el lactosuero puede presentar variaciones según el método de producción (Li & Zhu, 2024). Actúa como una fuente de vitaminas hidrosolubles, entre ellas la riboflavina (B2), el ácido pantoténico (B5) y la vitamina B12, las cuales son esenciales para el metabolismo energético (Buggy et al., 2018). Se distinguen dos tipos principales de lactosuero según su origen: el dulce, con un pH de 6,0 - 6,5 y un mayor contenido de lactosa, que proviene de quesos como el cheddar; y el ácido, con un pH de 4,0 - 5,0, más rico en minerales, derivado de quesos frescos como la ricota (Lizárraga-Chaidez et al., 2023). Debido a su versatilidad, el lactosuero se ha convertido en un recurso valioso para diversas industrias, como la alimentaria, nutracéutica, agrícola y energética. Se utiliza en la producción de alimentos funcionales, suplementos, bioplás-

ticos y biocombustibles, lo que fomenta su aprovechamiento y contribuye a la economía circular (Aldana, 2022).

La Tabla 1 muestra la composición general del lactosuero y la distribución de sus proteínas, basada en diversas investigaciones. En cuanto a su contenido mineral, el lactosuero tiene la capacidad de retener alrededor del 90% de minerales como calcio, potasio, fósforo, sodio y magnesio presentes en la leche. Estos minerales se transfieren al suero o a los permeados después de que las proteínas se coagulan durante el proceso de elaboración de la cuajada (Unicach Universidad, 2020).

Según el método de eliminación de la caseína, se pueden diferenciar diversos tipos de lactosuero. El suero dulce, se obtiene mediante la coagulación con renina a un pH de 6,5. El suero ácido, se produce a través de un proceso de fermentación o añadiendo ácidos orgánicos o minerales para coagular la caseína, como ocurre en la fabricación de quesos frescos (Asas et al., 2021). En la Figura 2 se detallan los tipos de suero y dónde se generan.

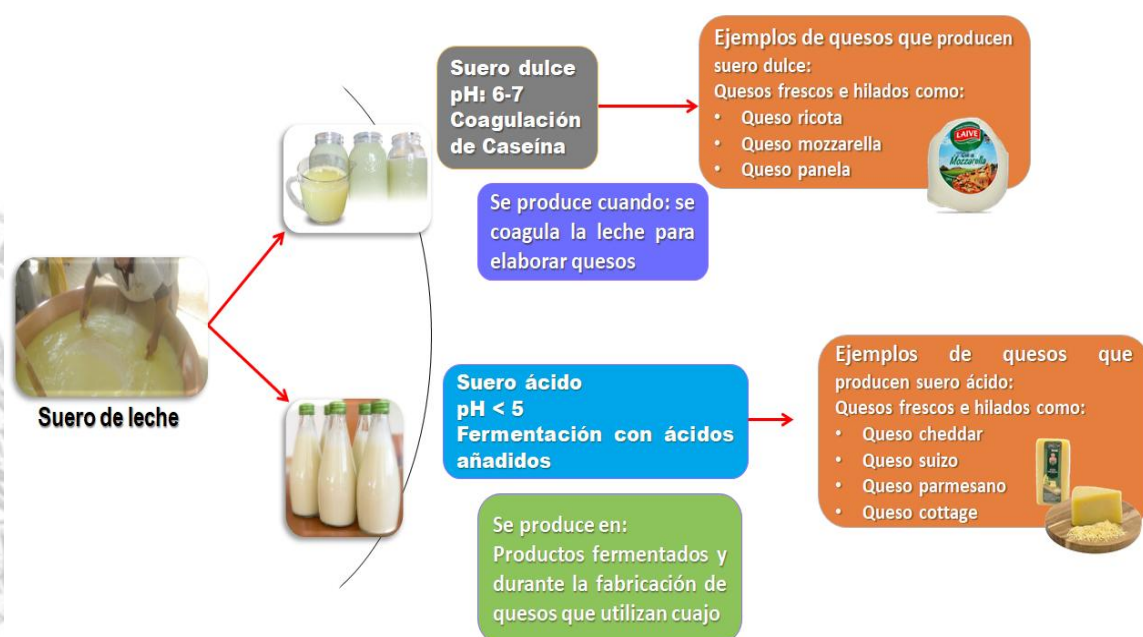
Tabla 1

Composición general del lactosuero y su perfil proteico

Table 1

General composition of whey and its protein profile

Componente	Valor aproximado (%)	Referencias
Agua	93% - 95%	(Soltani et al., 2017)
Lactosa	4,6% - 5,2% en dulces y 4,4% - 4,6% en ácidos	(Araújo et al., 2022)
Proteína	El lactosuero representa aproximadamente el 25% del total de proteínas presentes en la leche, con una concentración de 0,6% en suero dulce y de 0,6% - 0,8% en suero ácido	(Aldana & Silvia, 2022) (Irazoqui et al., 2024)
Lípidos	El 0,5% y 8% de la grasa presente en la leche,	(Araújo et al., 2022)
Vitaminas	En este grupo encontramos Tiamina 0,038% (p/v); Riboflavina 0,12% (p/v); Ácido nicotínico 0,085% (p/v) Ácido Pantoténico 0,34% (p/v); piridoxina 0,042% (p/v); cobalamina 0,003% (p/v); ácido ascórbico 0,22% (p/v)	(Asas et al., 2021)
Minerales	8-10% del extracto seco, calcio (0,04% - 0,06% en lactosuero dulce y 0,12% - 0,16% en lactosuero ácido), potasio, fósforo, sodio y magnesio	(Williams Zambrano & Dueñas Rivadeneira, 2021)
Proteínas totales	0,6% - 1%	(Fassina et al., 2019)
Ácidos orgánicos	0,1% - 0,5%	(Ali Redha et al., 2022)
α -Lactoalbúmina	25% - 30% del contenido total de proteínas.	(Chen et al., 2023)
β -Lactoglobulina	40% - 50%. Posee propiedades que le permiten emulsionar y puede interactuar con sustancias como el retinol y los ácidos grasos	(Aponte Colmenares et al., 2023)
Globulina	Representa el 10% de las proteínas totales	(Irazoqui et al., 2024)
Lactoferrina	1% - 2%	(Soltani et al., 2017)
Glicomacropéptidos	Representan en un 10% - 15%	(Irazoqui et al., 2024)
Lisozima, lactoperoxidasa y otras enzimas	<1%	(Ávila, 2024)

**Figura 2.** Clases de suero de leche y su lugar de producción.**Figure 2.** Types of whey and their place of production.

3. Propiedades funcionales de los componentes del lactosuero

En términos tecnológicos, la proteína se destaca como el elemento más relevante y adaptable del lactosuero (Mazorra-Manzano et al., 2019).

Esta parte se compone de varias proteínas, incluyendo la beta-lactoglobulina (β -LG), que constituye entre el 40% y el 50%; la alfa lactoalbúmina (α -LA), que abarca entre el 12% y el 15%; las inmunoglobulinas (IGs), que representan el 8%; la albúmina de suero bovino (BSA, 5 %), también denominada en inglés como Bovine Serum Albumin; la lactoferrina (Lf, 1%) (Ávila, 2024). Las proteínas del lactosuero se emplean en una extensa gama de usos en la alimentación, que incluyen bebidas, artículos de panadería, confitería, lácteos y productos cárnicos (Aponte Colmenares et al., 2023).

Entre las proteínas del lactosuero con destacadas propiedades funcionales se encuentran la β -lactoglobulina (β -LG), la α -lactoalbúmina (α -LA) y la albúmina sérica bovina (BSA). La β -LG es la proteína mayoritaria en el lactosuero y se distingue por su excelente capacidad para formar emulsiones y geles, lo que la convierte en un ingrediente versátil y valioso en la industria alimentaria (Irazoqui et al., 2024).

En cuanto a la α -LA, posee una alta solubilidad en un extenso espectro de pH y destaca por sus propiedades de espuma y emulsificación. Adicionalmente, posee la habilidad para acoplarse a iones de calcio y a sustancias hidrofóbicas, tales como vitaminas liposolubles (Vitamina D3), retinol y ácidos grasos (Buggy et al., 2018). La BSA tiene propiedades parecidas a la α -LA y suele ser empleada como proteína modelo en la investigación de sistemas alimenticios con emulsiones y espumas (Kandasamy et al., 2021).

Debido a la amplia variedad de propiedades tecnológicas de las proteínas del lactosuero, en la Tabla 2 se detalla algunas de sus aplicaciones en distintos productos alimenticios.

4. Tecnologías y procesos para tratamiento de suero lácteo

La transformación del suero lácteo se inicia con una fase de pretratamiento, que usualmente comprende la clarificación, el desnatado (reducción de la grasa) y la pasteurización (Abish et al., 2024). Estas actividades son imprescindibles para asegurar que el suero satisfaga las condiciones y especificaciones necesarias en los procesos de elaboración de productos de alto valor añadido (Alimentos Con Calidad, 2023).

4.1. Tecnología de membrana

Se emplean tecnologías de membrana para la separación de compuestos, utilizando membranas semipermeables y un proceso de filtración por flujo cruzado, en el que la presión controlada facilita la eliminación de materiales no deseados (Aldana & Silvia, 2022). Como consecuencia de esta operación, siempre se generan dos corrientes: el permeado, que alberga los compuestos que han sido filtrados a través de la membrana y usualmente se desechan, y el concentrado o retenido, que representa la porción útil que se pretende mantener en el producto final (Hermosa Díaz, 2021). Estas tecnologías se aplican en diversos sectores de la industria lechera, incluyendo la mejora de las propiedades técnicas de la leche para la producción de derivados lácteos, la separación de grasa y lactosa, la filtración microbiana de productos lácteos y el procesamiento y aprovechamiento del suero lácteo (Aldana & Silvia, 2022). En este último escenario, hay varios tipos de procesos de membrana empleados para el fraccionamiento y valoración del suero, dependiendo de las propiedades del producto que se quiera conseguir.

4.2. Producción de concentrados de suero (WPC)

Los Concentrados de Proteínas de Suero de Leche (WPC) con variados grados de proteínas suelen ser producidos mediante un proceso de concentración selectivo que comprende ultrafiltración (UF) y secado por pulverización (Hao et al., 2024). Previo al proceso de purificación y concentración del suero en la planta, es imprescindible llevar a cabo un acondicionamiento para eliminar los finos de caseína, siendo aconsejable que su concentración sea menor a 100 mg/litro, además de las grasas. Asimismo, es crucial desactivar los microorganismos y enzimas producidos durante la elaboración del queso a través de la pasteurización (Hermosa Díaz, 2021).

Antes de la ultrafiltración (UF), puede incorporarse una etapa adicional de pretratamiento mediante microfiltración (MF) del suero previamente pasteurizado y clarificado. Este proceso tiene como objetivo eliminar la mayor cantidad posible de grasas presentes en forma de microagregados, evitando que interfieran en la etapa posterior de UF.

Se recomienda reducir el contenido graso a menos del 0,06% para garantizar un producto final con un bajo nivel de grasa (Marnotes et al., 2021).

Tabla 2

Aplicaciones industriales del lactosuero en función a sus propiedades funcionales

Table 2

Industrial applications of whey based on its functional properties

Fuente	Aplicación	Características y Beneficios	Función	Referencias
Productos de panificación y horneados	Panes, carne, pescado, croissants y tortas	Contribuyen a unir las migas o el rebozado con la carne, el pescado o las verduras. Potencian el valor nutricional como agente emulsificante, proporcionando textura a la masa, optimizar el sabor, otorgando funcionalidad y consistencia.	Adhesión Emulsificante	(Aldana & Silvia, 2022)
Productos lácteos	Bebidas fermentadas y quesos, yogurt	Valor alimentario, optimizan características organolépticas, incrementan la consistencia	Efecto Emulsificante Cohesión y Unidad Gelificante	(Cedeño et al., 2018)
Postres	Barras de yogurt, helados, cremas, flanes	Dan cuerpo y estructura a los productos	Gelificación y fijación por calor	(Abuín Fernández et al., 2020)
Confitería	Dulces y caramelos	Facilitan el batido	Emulsificante	(Murillo Jiménez, 2019)
Alimentos líquidos y semipastosos	Sopas, mayonesa y salsas	Incrementan el valor nutricional Brindan aporte calórico	Emulsificante	(Yu et al., 2024)
Productos de origen cárnico	Embutidos, hamburguesas, conservas de pescado y pollo, salmón carnes precocidas, mariscos	Proporcionan un aporte calórico, previenen la oxidación de lípidos en carnes precocidas. Establecen emulsiones estables y previene que los glóbulos grasos se conviertan en una masa de gran envergadura.	Actividad antioxidante Emulsificante Gelificante Solubilidad Retención de agua	(Araújo et al., 2020)
Alimentos nutricionales	Suero de leche en polvo, bebidas funcionales, nutritivas y energéticas a base de lactosuero	Brindan alimentos de alta calidad nutricional y accesibles, diseñados para atletas, personas mayores, fórmulas específicas para mantener un peso saludable o aumentar la ingesta proteica, así como productos infantiles y opciones especializadas para dietas hospitalarias.	Enriquecimiento nutricional Dispersabilidad	(Cedeño et al., 2018) (Sandra Blandón N, 2020)
Proteína concentrada	Mezclas secas para bebidas	Contienen entre 35% - 80% de proteína, dependiendo del grado de concentración (WPC35, WPC80, etc.).	Excelente capacidad de emulsificación, gelificación, espesamiento y retención de agua.	(Acquah et al., 2020) (A'yun et al., 2020)
Aislados de proteína	Mezclas secas para bebidas	Contienen $\geq 90\%$ de proteína en base seca, con mínima cantidad de grasas y carbohidratos. .	Enriquecimiento nutricional Dispersabilidad Estabilidad	(Rodríguez-Basantes et al., 2020)
Hidrolizados de proteína	Para la elaboración de fórmulas infantiles, alimentos destinados a deportistas y productos nutricionales especializados.	Generalmente contienen entre 80% - 90% de proteínas, dependiendo del grado de hidrólisis. Permiten formulaciones líquidas de baja densidad sin afectar la textura. Absorción más rápida que los concentrados (WPC) y aislados (WPI), ideal para recuperación muscular.	Enriquecimiento nutricional Dispersabilidad	(Andrea Duarte-Manchego et al., 2019; Eberhardt, 2024)

La ultrafiltración (UF) es el procedimiento de concentración y purificación que se realiza después de la microfiltración (Aldana, 2022). Como se ilustra en la Figura 3, las membranas de ultrafiltración permiten retener las proteínas, mientras eliminan las sales, la lactosa y el agua

que atraviesa la membrana. Al final, el concentrado es dirigido hacia las cámaras de secado por aspersión (Hermosa Díaz, 2021). La lactosa, las sales y los oligopéptidos pasan a través de los poros y se recogen en el permeado, como se muestra en la Figura 4.

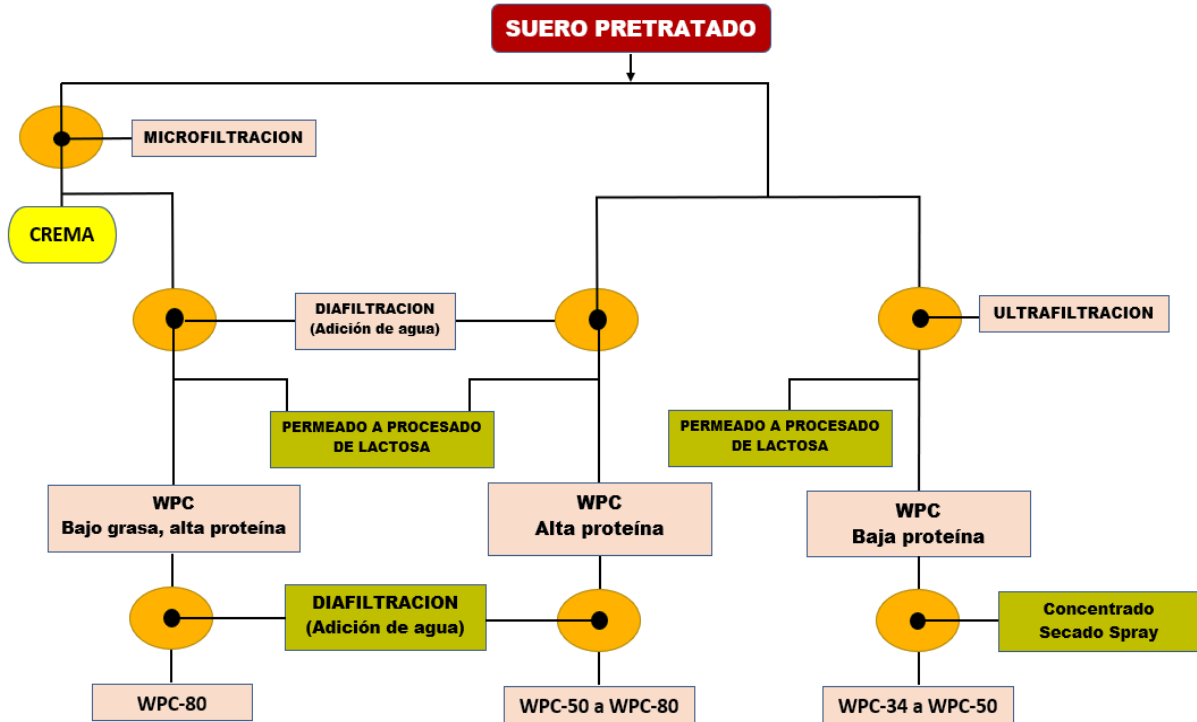


Figura 3. Diagrama del procedimiento para adquirir Concentrados Proteicos de Lactosuero (WPC).

Figure 3. Diagram of the procedure for acquiring Whey Protein Concentrates (WPC)

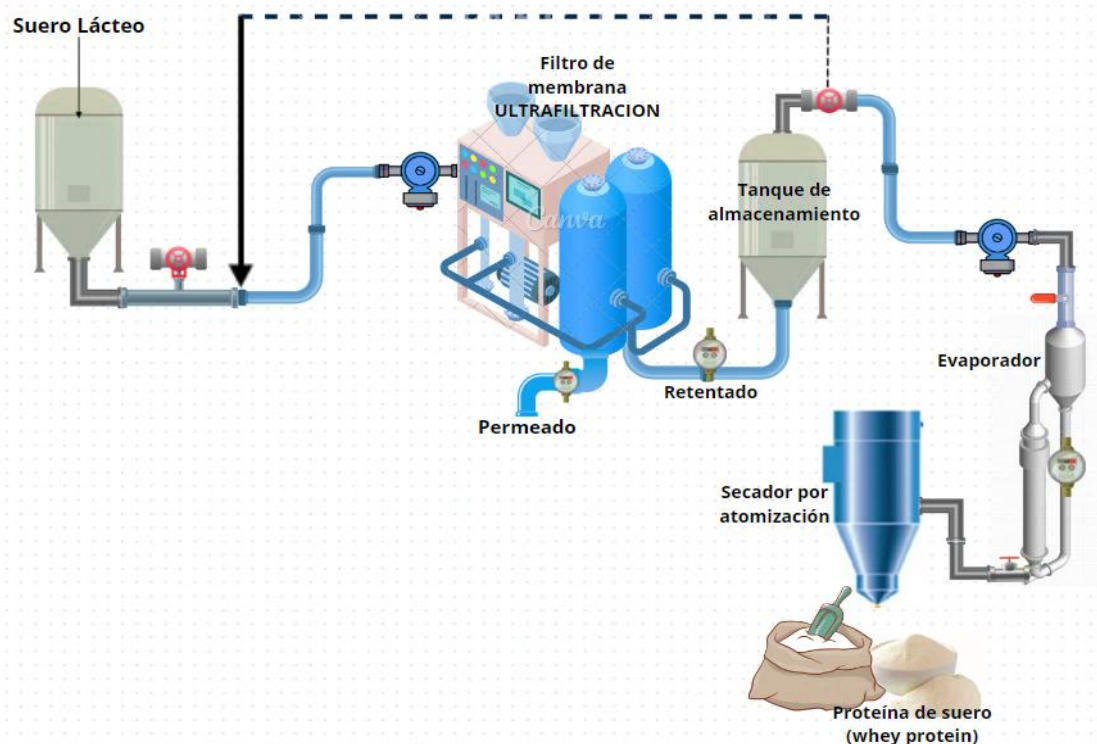


Figura 4. Proceso de ultrafiltración del suero de leche. / Figure 4. Ultrafiltration process of whey.

4.3. Obtención de aislados de suero (WPI)

La obtención de WPI a partir de lactosuero se lleva a cabo mediante un proceso en serie que combina microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF). Primero, el permeado resultante de la microfiltración, que ya ha sido desengrasado, es sometido a una segunda etapa de ultrafiltración para su concentración adicional (Vioque et al., 2021).

En esta fase, también se aplica diafiltración (DF). Las membranas utilizadas en la microfiltración están diseñadas para retener partículas suspendidas de tamaño micrométrico, como los lípidos presentes en el lactosuero concentrado (Bejarano Toro, 2022).

Por otro lado, las membranas de ultrafiltración se diseñan para conservar elementos a nivel molecular, como las proteínas, diferenciándolas de la lactosa y otras impurezas del lactosuero, que se utiliza como componente en la elaboración de lactosa (Hermosa Díaz, 2021).

Es relevante destacar que el proceso de ultrafiltración del lactosuero concentrado en una planta de microfiltración ayuda a reducir el contenido graso del WPC en polvo (con una concentración proteica del 80% - 85%), bajándolo del 7,2% a menos del 0,4%. En contraposición al intercambio iónico, este método no modifica químicamente las proteínas y facilita la permanencia de los glicomacropéptidos en conjunto con el resto de los elementos. Cuando el procedimiento se lleva a cabo sin modificaciones en el pH y a temperaturas moderadas, el resultado final casi no incluye proteínas desnaturalizadas (Kandasamy et al., 2021).

5. Aplicaciones en la Industria de Alimentos

Las proteínas presentes en el suero no solo se emplean en productos básicos, sino que también se utilizan para desarrollar alimentos altamente nutritivos y funcionales, lo que contribuye a mejorar su sabor, color y textura, además de prolongar su vida útil (Arab et al., 2023). Estas proteínas poseen propiedades como la emulsificación, la formación de espuma y la gelificación, aunque su desempeño funcional está estrechamente relacionado con el nivel de acidez. Sin embargo, varios estudios han mostrado que la combinación de proteínas de suero con polifenoles, mediante enlaces covalentes y no covalentes, puede potenciar su rendimiento. (Baba et al., 2021).

Además, se han realizado investigaciones donde se han empleado proteínas de suero como sustituto a la harina de trigo con gluten. Por ejemplo, (Ammar et al., 2021) utilizaron un

concentrado de proteína de suero en combinación con harinas de arroz y maíz en capas para crear bizcochos libres de gluten. Los hallazgos del experimento demostraron que los componentes escogidos para la creación de bizcochos tienen la capacidad de reemplazar eficazmente la harina de trigo. Adicionalmente, el uso de proteínas de suero facilita el enriquecimiento de los productos de panadería, incrementando su valor nutricional a través de la inclusión de ingredientes con elevado contenido proteico, como las proteínas de trigo.

Sin embargo, cuando el contenido proteico supera el 5%, pueden aparecer sabores amargos debido a la presencia de pequeños péptidos, ácido ferúlico y taninos (Pořízka et al., 2023).

El lactosuero en polvo es bien conocido como ingrediente en la industria de la panificación por resaltar su sabor y cualidades de calidad, volumen, textura, corteza y retención de frescura en el pan de trigo, son características proporcionadas por la incorporación de una combinación de emulsificantes y lactosuero en polvo. Un ejemplo de ello es la emulsión de escualeno con proteína de suero de leche y quitosano, cuya encapsulación ha demostrado mejorar la estabilidad oxidativa cuando se incorpora a productos de panadería, como las tortas (Lekshmi et al., 2019).

Finalmente, los suplementos de proteína de suero son ampliamente utilizados como alternativas alimentarias para proporcionar a los consumidores aminoácidos esenciales y péptidos bioactivos (Hao et al., 2024).

Por otra parte, el uso de componentes derivados del suero en la producción de alimentos funcionales aporta beneficios significativos tanto en la calidad de los productos como en la salud de las personas (Ávila, 2024). Se ha demostrado que los suplementos elaborados con aislado de proteína de suero (WPI) y concentrado de proteína de suero son utilizados para mejorar la síntesis de proteínas musculares. Por otro lado, el hidrolizado de proteína de suero (WPH) ha mostrado ser efectivo para favorecer la hipertrofia muscular y mejorar el rendimiento físico (Fassina et al., 2019).

Desde una perspectiva tecnológica, el lactosuero ha ganado relevancia como una materia prima valiosa para la producción de diversos productos, debido a sus propiedades nutricionales y funcionales. En el ámbito alimentario, su aplicación en bebidas funcionales (aquellas que contienen ingredientes que potencian funciones fisiológicas y nutricionales en el organismo) ha

sido objeto de investigación. Actualmente, se están desarrollando una amplia variedad de bebidas, entre las cuales destacan las elaboradas a partir de lactosuero procesado y frutas (Rodríguez et al., 2022).

Al desarrollar mezclas para helados que incluyan subproductos de suero de leche, es crucial evaluar inicialmente el contenido de proteínas y lactosa que estos pueden aportar al producto final. Se recomienda utilizar WPC, dado que estos concentrados ofrecen un perfil proteico más adecuado en comparación con otros subproductos, además de tener una menor concentración de lactosa. Asimismo, es importante analizar y determinar con precisión el tiempo de almacenamiento adecuado, especialmente cuando se utilicen WPC 60% – 85% o WPI en postres congelados, ya que con el paso del tiempo estos pueden absorber agua y modificar la viscosidad u otras propiedades del producto (Aldana, 2022).

Los productores de pequeña escala y las queserías familiares tienen la posibilidad de emplear el lactosuero en la elaboración de variados productos agroindustriales (Figura 5).

6. Implicaciones de las proteínas del lactosuero en salud y nutrición

No cabe duda del impacto que tiene la industria alimentaria en la vida cotidiana de los

consumidores, así como de la importancia de la alimentación en la prevención de enfermedades y su relación con la salud (Gurrola & Chávez-Martínez, 2017). El consumo de alimentos suplementados o hechos con proteínas de lactosuero puede tener beneficios para la salud, dado que estas proteínas tienen múltiples funciones biológicas y fisiológicas que favorecen la estabilidad de los sistemas digestivo, óseo, inmunológico, nervioso, cardiovascular y muscular (Figura 6) (Ávila, 2024). En los últimos años, múltiples investigaciones se han enfocado en mejorar las aplicaciones existentes y desarrollar nuevas formas de aprovechar la proteína de suero para la prevención, mantenimiento y recuperación de la salud (Aldana & Silvia, 2022). Diversos estudios científicos han demostrado que la proteína de suero es un ingrediente alimentario versátil, desempeñando un papel fundamental en distintas áreas de la salud, como la función y movilidad intestinal, el fortalecimiento del sistema inmunológico, la prevención del cáncer, la salud cardiovascular y la optimización del rendimiento cardiorrespiratorio (Gurrola & Chávez-Martínez, 2017).

La Tabla 3 muestra una lista de sus elementos más relevantes, junto con una breve explicación de las propiedades fundamentales de cada uno en términos de nutrición y salud.

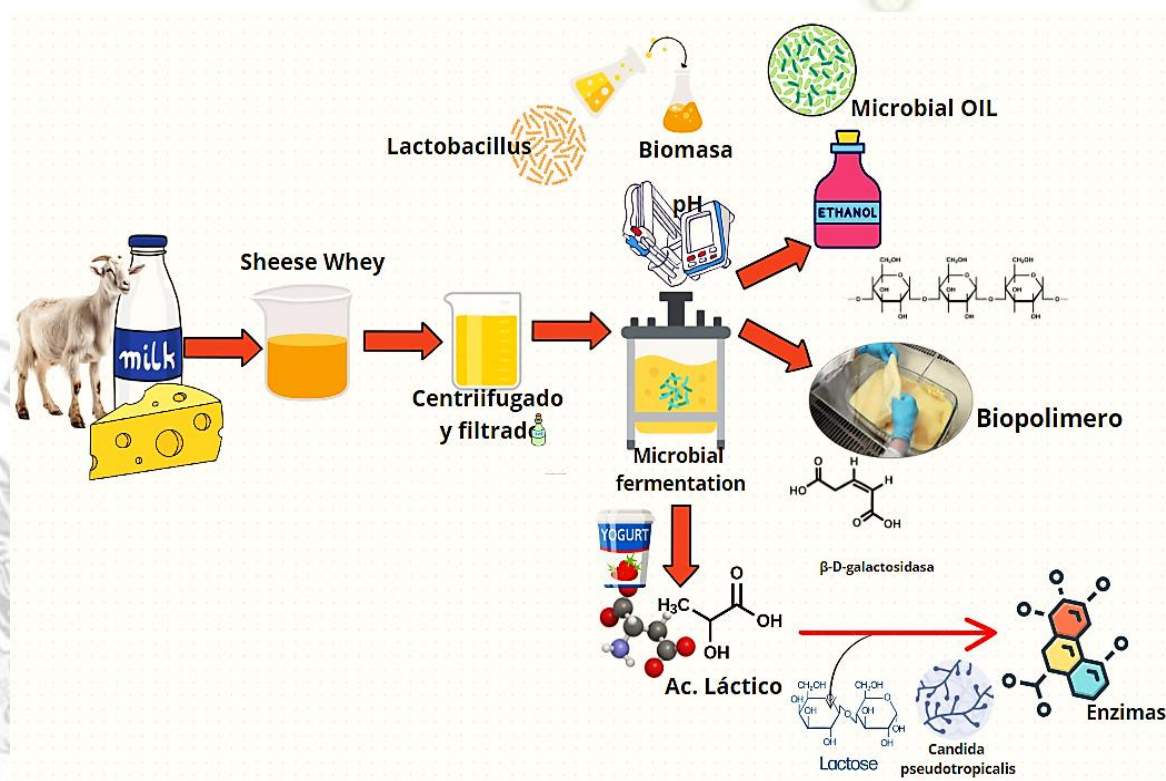


Figura 5. Aprovechamiento industrial del suero lácteo. / Figure 5. Industrial use of whey.

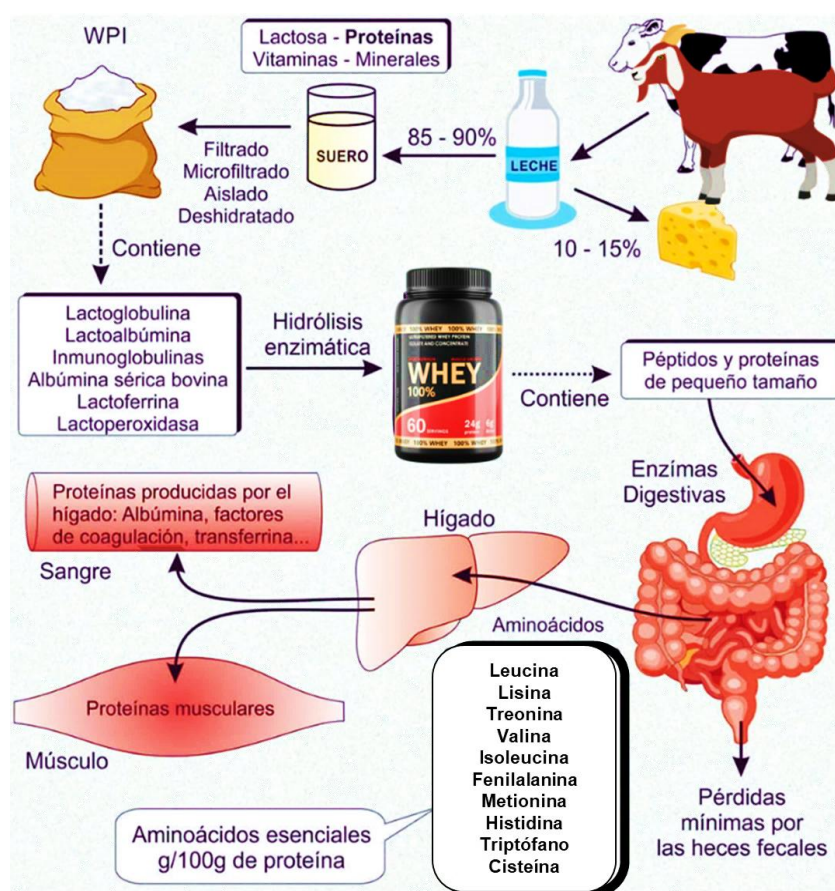


Figura 6. Suero lácteo y su implicancia con salud y nutrición. / **Figure 6.** Whey and its implications for health and nutrition.

Tabla 3

Implicaciones de las proteínas de lactosuero en salud y nutrición

Table 3

Implications of whey proteins in health and nutrition

Fuente	Aplicación	Características y Beneficios	Función	Referencias
Alfa Lactoalbúminas, Beta Lactoglobulinas, Inmunoglobulinas, proteínas de calcio como la lactoferrina y la lactoperoxidasa.	Fórmula para infantes	Las fórmulas ofrecen beneficios para su consumo, incluyendo efectos positivos en la colitis ulcerosa y en el control de la glucosa sanguínea, mejorando la sensibilidad a la insulina en personas con y sin diabetes tipo II.	Sistema digestivo	(Buggy et al., 2018)
Compuestos bioactivos	Péptidos y proteínas	Con propiedades antihipertensivas, antimicrobianas, antioxidantes, aumento de la saciedad, entre otras.	Sistema Neurológico	(Baba et al., 2021)
Lactosa	Productos farmacéuticos Componentes de fórmulas infantiles	Elemento esencial para la elaboración de productos lácteos: lactulosa, GOS, lactitol, glucosa.	Sistema digestivo	(Almagro García et al., 2017)
Complejos minerales	Hierro Calcio Estructura peptídica	Contribuye a la salud ósea, previene la anemia y facilita la unión de cationes esenciales.	Sistema óseo y hematopoyético	(Williams Zambrano & Dueñas Rivadeneira, 2021)

β Lactoglobulina	Aminoácidos esenciales Acido retinoico	Fomentan la producción de glutación. Actividad anticancerígena en el ámbito intestinal. Regula las reacciones linfáticas en situaciones de infecciones y expansión de tumores.	Sistema inmunológico	(Gurrola & Chávez- Martínez, 2017)
α Lactoalbúmina	Triptófano (aminoácido)	Mejora el sueño, favorece el crecimiento infantil mediante la serotonina y reduce el estrés, beneficiando el bienestar emocional y cognitivo	Sistema nervioso	(Jakubowicz & Froy, 2013)
Proteínas del lactosuero Ingesta de glucosa	Aminoácidos, vitaminas y minerales hipertensión colecistoquinina (CCK)	Ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares y metabólicas, como la diabetes tipo II e hipertensión, reduciendo los niveles de triglicéridos.	Sistema cardiovascular	(Gurrola & Chávez- Martínez, 2017)

7. Retos, oportunidades y uso sostenible del lactosuero

El lactosuero enfrenta varios desafíos importantes, entre ellos su considerable impacto ambiental debido a su elevada carga orgánica, la cual puede provocar contaminación si no se gestiona de manera adecuada (Mazorra-Manzano et al., 2019). Asimismo, la carencia de infraestructura y tecnologías accesibles dificulta su procesamiento eficiente, especialmente para pequeñas y medianas empresas (Asas et al., 2021). Otro obstáculo es su escaso valor comercial, sumado a las rigurosas normativas que regulan su uso en los sectores alimentario y agrícola, lo que limita su aprovechamiento (Williams Zambrano & Dueñas Rivadeneira, 2021).

A pesar de estos desafíos, el lactosuero presenta diversas oportunidades, como su incorporación en la elaboración de alimentos funcionales, suplementos nutricionales y productos nutracéuticos, debido a su riqueza en proteínas y compuestos bioactivos.

También puede utilizarse en la alimentación animal, favoreciendo la economía circular y la sostenibilidad del sector agroindustrial. Además, los progresos en biotecnología han generado nuevas oportunidades para su uso en la fabricación de bioplásticos, biogás y otros productos de gran valor, promoviendo un método más sustentable y lucrativo para la industria de los lácteos (Lizárraga-Chaidez et al., 2023).

El lactosuero es un subproducto líquido generado en la fabricación de queso y otros productos lácteos, y constituye un desafío ambiental importante debido a su alto contenido de materia

orgánica (Williams Zambrano & Dueñas Rivadeneira, 2021).

Si no se maneja adecuadamente, su eliminación puede contaminar el agua y el suelo, dañando los ecosistemas (Aldana, 2022).

Para reducir su impacto, se han implementado diversas estrategias de aprovechamiento sostenible. Una de ellas es la producción de bioenergía mediante la digestión anaerobia del lactosuero, lo que permite obtener biogás, una fuente renovable que ayuda a disminuir los residuos y a generar energía de manera sostenible (Asas et al., 2021).

Estos productos, derivados del lactosuero, contienen péptidos y aminoácidos esenciales que fortalecen las plantas, mejorando su resistencia ante condiciones adversas como la sequía y el frío. Asimismo, puede aprovecharse en la producción de bioplásticos a través de procesos biotecnológicos, transformando sus componentes en materiales biodegradables que representan una opción ecológica frente a los plásticos tradicionales, ayudando a reducir la contaminación ambiental (Rodríguez-Basantes et al., 2020).

Por último, el lactosuero es valioso en la alimentación humana y animal, ya que contiene proteínas de alta calidad, lactosa, vitaminas y minerales. Esto lo hace ideal para su uso en alimentos y suplementos nutricionales, promoviendo una dieta más saludable y sostenible.

8. Conclusiones

Las proteínas del suero lácteo, como la α -lactoalbúmina y la β -lactoglobulina, se distinguen tanto por su elevado valor nutricional como por

sus propiedades químicas y funcionales, lo que las convierte en componentes clave para múltiples aplicaciones tecnológicas. Debido a estas propiedades, su aplicación se expande a diversas industrias, como la farmacéutica, cosmética, agrícola y, en particular, la alimentaria.

En esta última industria, son utilizados en la producción de una extensa gama de productos, como complementos nutricionales, bebidas fermentadas, formulaciones para niños, mermeladas, productos de panadería, cárnicos, alimenticios, nutraceuticos e incluso en la fabricación de etanol. Estos artículos provienen de diversas variantes de proteínas de suero, como la concentrada (WPC), la aislada (WPI) y la hidrolizada de suero (WPH).

Además de su función en la dieta, estas proteínas poseen usos médicos en la prevención y terapia de enfermedades crónicas, favoreciendo también el robustecimiento del sistema inmunológico.

Se ha verificado científicamente su habilidad antioxidante, en particular en la defensa de los lípidos, mediante investigaciones llevadas a cabo en modelos in vitro.

Finalmente, el uso del suero de leche a través de su procesamiento y reutilización en la elaboración de alimentos funcionales, bebidas, piensos y otros productos útiles constituye una opción valiosa y sustentable en comparación con su supresión después de la producción de lácteos.

Referencias bibliográficas

- Abish, Z. A., Alibekov, R. S., Tarapoulouzi, M., Bakhtbekova, A. R., & Kobzhasarova, Z. I. (2024). Review in deep processing of whey. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2415380. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2415380>
- Abuín Fernández, J., Caracuel García, Á. M., Ruiz García, I., Gómez Perea, A., Oliva, L., Contreras Bolívar, V., Isabel Liébana, M., Jiménez Martínez, S., Pérez Ortiz, S., Oliveira, G., & Liébana Barranco, M. I. (2020). Satisfacción con el menú hospitalario e incorporación del yogur líquido de cabra como postre. *Nutrición Hospitalaria*, 37(2), 321-326. <https://doi.org/10.20960/nh.02909>
- Acquah, C., Zhang, Y., Dubé, M. A., & Udenigwe, C. C. (2020). Formation and characterization of protein-based films from yellow pea (*Pisum sativum*) protein isolate and concentrate for edible applications. *Current Research in Food Science*, 2, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2019.11.008>
- Aldana, A. S. B. (2022). *Aplicaciones y Tecnologías Utilizadas para el Aprovechamiento del Suero Lácteo, la Producción del Suero en Polvo, Derivados y sus Aplicaciones en la Industria en General y de Alimentos*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 135 pp.
- Aldana, B., & Silvia, A. (2022). *Aplicaciones y tecnologías utilizadas para el aprovechamiento del suero lácteo, la producción del suero en solvo, derivados y sus aplicaciones en la industria en general de alimentos*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/51553>
- Ali Redha, A., Valizadenia, H., Siddiqui, S. A., & Maqsood, S. (2022). A state-of-art review on camel milk proteins as an emerging source of bioactive peptides with diverse nutraceutical properties. *Food Chemistry*, 373, 131444. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131444>
- Alimentos Con Calidad (Director). (2023, noviembre 8). *Como se Hace la proteína de suero de leche [proceso completo] /proteína de suero de leche* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=cxxPW8fPr7w>
- Almagro García, M. C. de, Moreno Muñoz, J. A., Jiménez López, J., & Rodríguez-Palmero Seuma, M. (2017). Nuevos ingredientes en fórmulas infantiles: Beneficios sanitarios y funcionales. *Nutrición Hospitalaria*, 34, 8-12. <https://doi.org/10.20960/nh.1564>
- Ammar, I., Gharsallah, H., Ben Brahim, A., Attia, H., Ayadi, M. A., Hadrich, B., & Felfoul, I. (2021). Optimization of gluten-free sponge cake fortified with whey protein concentrate using mixture design methodology. *Food Chemistry*, 343, 128457. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128457>
- Aponte Colmenares, Á. P., Prieto Suárez, G. A., Castellanos Báez, Y. T., de Jesús Muvdi Nova, C., & Yurievich Sakharov, I. (2023). Review. Aplicaciones del lactosuero y sus derivados proteínicos. *Ciencia en Desarrollo*, 14(2), 139-155. <https://doi.org/10.19053/01217488.v14.n2.2023.15002>
- Arab, S. A., Kaempoor, M., Alkhaleel, R., & Mahdian, A. (2023). Recent Trends in Developing Whey Products by Advanced Technologies. *Scholars Academic Journal of Biosciences*, 11(02), 74-79. <https://doi.org/10.36347/sajb.2023.v11i02.006>
- Araújo, A. R., Muir, J. P., de Vasconcelos, A. M., Franco Pompeu, R. C. F., Guedes, L. F., dos Santos Costa, C., de Sousa Carneiro, M. S., Campos, W. É., & Pinheiro Rogério, M. C. (2020). Consumption, apparent digestibility and nutrient balance of diets with bovine milk whey for goats; [Consumo, digestibilidade aparente e balanço de nutrientes de dietas com soro de leite bovino para caprinos]. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(5), 1719-1728. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n5p1719>
- Araújo, N. G., Barbosa, I. M., Lima, T. L. S., Moreira, R. T., & Cardarelli, H. R. (2022). Development and characterization of lactose-free probiotic goat milk beverage with bioactive rich jambo pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 59(10), 3806-3818. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05399-z>
- Asas, C., Llanos, C., Matavaca, J., & Verdezoto, D. (2021c). Whey: Environmental impact, uses and applications via biotechnology mechanisms. *Agroindustrial Science*, 11, 105-116. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.13>
- A'yun, Q., Azzahrani, I. N., Huyst, A., de Neve, L., Martins, J. C., van Troys, M., Hidayat, C., & Van der Meeren, P. (2020). Heat stable whey protein stabilised O/W emulsions: Optimisation of the whey protein concentrate dry heat incubation conditions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 603. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125192>
- Ávila, D. (2024). *La Química del Lactosuero: Composición, Propiedades y Aplicaciones Industriales*. TSI Group - Tecnoluciones Integrales.
- Baba, W. N., McClements, D. J., & Maqsood, S. (2021). Whey protein-polyphenol conjugates and complexes: Production, characterization, and applications. *Food Chemistry*, 365, 130455. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130455>
- Bejarano Toro, E. E. (2022). *Aprovechamiento del lactosuero dulce para el desarrollo de un concentrado de proteínas séricas obtenidas por tecnología de separación por membranas y su inclusión en la elaboración de queso fresco* [Trabajo de grado - Doctorado, Universidad Nacional de Colombia].
- Buggy, A. K., McManus, J. J., Brodkorb, A., Hogan, S. A., & Fenelon, M. A. (2018). Pilot-scale formation of whey protein aggregates determine the stability of heat-treated whey protein solutions—Effect of pH and protein concentration. *Journal of Dairy Science*, 101(12), 10819-10830. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14177>
- Cedeño, M. M., Tamayo, L. D. Y., Ramírez-Cárdenas, L., Cedeño, M. M., Tamayo, L. D. Y., & Ramírez-Cárdenas, L. (2018). Elaboración de una bebida utilizando subproductos de la industria láctea. *Enfoque UTE*, 9(2), 59-69. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.295>
- Chen, L., Hong, T., Li, Z., Shen, G., Gu, Y., & Han, J. (2023). A comparison of milk fat globule membranes and whey proteomes: New insight into variation nutrient differences between Buffalo, Cow, Goat, and Yak. *Food Chemistry*, 429, 136845. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136845>
- Delgado-Macuil, R. J., Perez-Armendariz, B., Cardoso-Ugarte, G. A., Tolibia, S. E. M., & Benítez-Rojas, A. C. (2025). Recent Biotechnological Applications of Whey: Review and Perspectives. *Fermentation*, 11(4), 217. <https://doi.org/10.3390/fermentation11040217>

- Fassina, P., Nunes, G. Q., Adami, F. S., Goettert, M. I., & Souza, C. F. V. de. (2019). Importance of cheese whey processing: supplements for sports activities – A review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 69(1), 83–99. <https://doi.org/10.31883/pjfn-2019-0008>
- Gurrola, L. R. C., & Chávez-Martínez, A. (2017b). Proteínas del lactosuero: usos, relación con la salud y bioactividades. *Interciencia*, 42(11), 712-718.
- Hao, L., Li, X., Zhao, B., Song, X., Zhang, Y., & Liang, Q. (2024). Enzymatic Hydrolysis Optimization of Yak Whey Protein Concentrates and Bioactivity Evaluation of the Ultrafiltered Peptide Fractions. *Molecules*, 29(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/molecules29061403>
- Hermosa Díaz, P. E. (2021). *Últimos avances en el tratamiento de suero lácteo con tecnología de membranas (Realidad en el Ecuador)*. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Químico de Alimentos. Carrera de Química de Alimentos. Quito: UCE. 75 p.
- Irazoqui, J. M., Santiago, G. M., Mainez, M. E., Amadio, A. F., & Eberhardt, M. F. (2024). Enzymes for production of whey protein hydrolysates and other value-added products. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108(1), 354. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13117-2>
- Jakubowicz, D., & Froy, O. (2013). Biochemical and metabolic mechanisms by which dietary whey protein may combat obesity and Type 2 diabetes. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 24(1), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2012.07.008>
- Kandasamy, S., Yoo, J., Yun, J., Kang, H.-B., Seol, K.-H., Kim, H.-W., & Ham, J.-S. (2021). Application of whey protein-based edible films and coatings in food industries: An updated overview. *Coatings*, 11(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/coatings11091056>
- Lekshmi, R. G. K., Rahima, M., Chatterjee, N. S., Tejpal, C. S., Anas, K. K., Vishnu, K. V., Sarika, K., Asha, K. K., Anandan, R., & Suseela, M. (2019). Chitosan – Whey protein as efficient delivery system for squalene: Characterization and functional food application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 855-863. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.153>
- Li, J., & Zhu, F. (2024). Whey protein hydrolysates and infant formulas: Effects on physicochemical and biological properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(3), e13337. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13337>
- Lizárraga-Chaidez, M., Mendoza-Sánchez, M., García, L. A., & García-Pérez, J. (2023). El inocente impacto ambiental del suero de la leche. *EPISTEMUS*, 17(35), Article 35. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i35.316>
- Mamotes, N. G., Pires, A. F., Díaz, O., Cobos, A., & Pereira, C. D. (2021). Sheep's and Goat's Frozen Yoghurts Produced with Ultrafiltered Whey Concentrates. *Applied Sciences*, 11(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/app11146568>
- Mazorra-Manzano, M. Á., Moreno-Hernández, J. M., Mazorra-Manzano, M. Á., & Moreno-Hernández, J. M. (2019). Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal. *CienciaUAT*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1134>
- Minj, S., & Anand, S. (2020). Whey Proteins and Its Derivatives: Bioactivity, Functionality, and Current Applications. *Dairy*, 1(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/dairy1030016>
- Murillo Jiménez, J. S. (2019). *Aplicación de un blend emulsificante en el desarrollo de una bebida láctea por medio del proceso UHT, con sustitución parcial de leche por suero dulce de leche* [bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos.].
- Pofizka, J., Slavíková, Z., Bidmonová, K., Vymětalová, M., & Diviš, P. (2023). Physicochemical and Sensory Properties of Bread Fortified with Wheat Bran and Whey Protein Isolates. *Foods*, 12(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/foods12132635>
- Rodríguez, D. F. C., Guevara, R. M. B., González, I. R., & Charfueñan, M. L. I. (2022). Aprovechamiento de la quinua cultivada en Cundinamarca: Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de una bebida fermentada con extracto de quinua, lactosuero y pulpa de mango. *Publicaciones e Investigación*, 15(4), Article 4. <https://doi.org/10.22490/25394088.5595>
- Rodríguez-Basantes, A., Augusto Abad-Basantes, C., Pérez-Martínez, A., & Diéguez-Santana, K. (2020). Elaboración de una bebida a base de suero lácteo y pulpa de *Theobroma grandiflorum*. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(2), Article 2. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(18\)166-175](https://doi.org/10.18684/BSAA(18)166-175)
- Sandra Blandón. (2020). *Suero lácteo procesamiento* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=NntL7BeqPlo>
- Soltani, M., Say, D., & Guzeler, N. (2017). Functional Properties and Nutritional Quality of Whey Proteins. *J. Int. Environmental Application & Science*, 12(4), 334-338.
- Su, J., & Cavaco-Paulo, A. (2021). Effect of ultrasound on protein functionality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105653. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105653>
- Torres-Martínez, Q., Romero-León, K., Torres-Martínez, Q., & Romero-León, K. (2020). Alternativas tecnológicas para uso del lactosuero: Valorización económica de residuos. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 30(55). <https://doi.org/10.24836/es.v30i55.908>
- Unicach Universidad. (2020). *Libro Suero de leche* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=pJVhvQG1MEY>
- Vioque, J., Sánchez-Vioque, R., & Pedroche, J. (2021). Obtención y aplicaciones de concentrados y aislados proteicos. *Grasas y Aceites*, 52(Fasc. 2), 127-131
- Williams Zambrano, M. B., & Dueñas Rivadeneira, A. (2021). Alternativas para el aprovechamiento del lactosuero: Antecedentes investigativos y usos tradicionales. *La Técnica*, 11(2), 39-50.
- Yu, J., Yun, M., Li, J., Gao, Y., & Mao, L. (2024). Development of Oleogel-in-Water High Internal Phase Emulsions with Improved Physicochemical Stability and Their Application in Mayonnaise. *Foods*, 13(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/foods13172738>

