

DEL SUBPRODUCTO AL CARAMELO: EL POTENCIAL DEL SUERO LÁCTEO EN PRODUCTOS DE CONFITERÍA

/// LAURA GARCÍA-CURIEL^{1,2}, JESÚS GUADALUPE PÉREZ-FLORES^{1,3*}, ALMA
ELIZABETH CRUZ-GUERRERO², EMMANUEL PÉREZ-ESCALANTE³,
ELIZABETH CONTRERAS-LÓPEZ³.

¹Área Académica de Enfermería, Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Circuito Ex Hacienda La Concepción S/N, Carretera Pachuca-Actopan, 42060 San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México.

²Departamento de Biotecnología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, Iztapalapa, Ciudad de México, 09340, México.

³Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, 42184 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

*Corresponding author email: jesus_perez@uaeh.edu.mx

RESUMEN

El suero lácteo es un subproducto que se genera en grandes volúmenes durante la elaboración de quesos y otros productos lácteos. A pesar de su alto valor nutricional, con frecuencia es desechado, lo que representa un problema ambiental y económico, especialmente para pequeñas y medianas industrias. Este artículo examina su aprovechamiento en productos de confitería como caramelos, gomitas y malvaviscos, a partir de una revisión documental enfocada en sus propiedades tecnológicas, sensoriales y nutricionales. Diversos estudios han reportado que el suero, transformado en hidrolizados proteicos, galacto-oligosacáridos o concentrados proteicos, puede mejorar la textura de los productos, actuar como emulsionante y aportar péptidos bioactivos con funciones antioxidantes, inmunomoduladoras o prebióticas. Sin embargo, también se identificaron desafíos, como la presencia de un sabor residual, cambios en el color o dificultades en la manipulación durante el proceso de formulación. Estos aspectos se han abordado mediante estrategias como la selección del tipo de suero, el grado de hidrólisis y la incorporación de edulcorantes y colorantes naturales. El creciente interés del consumidor por alimentos con beneficios para la salud, sin sacrificar el sabor ni la apariencia, ha favorecido el desarrollo de confitería funcional basada en ingredientes alternativos. La literatura revisada muestra que la valorización del suero lácteo representa una oportunidad real para transformar un residuo agroindustrial en un ingrediente funcional con aplicaciones innovadoras, sostenibles y comercialmente viables.

ABSTRACT

Whey is a by-product generated in large volumes during the production of cheese and other dairy products. Despite its high nutritional value, it is often discarded, posing environmental and economic challenges, particularly for small and medium-sized enterprises. This article explores its potential use in confectionery products such as candies, gummies, and marshmallows, based on a literature review focused on its technological, sensory, and nutritional properties. Scientific studies report that whey, when processed into protein hydrolysates, galacto-oligosaccharides, or protein concentrates, can improve product texture, act as an emulsifier, and provide bioactive peptides with antioxidant, immunomodulatory, or prebiotic functions. However, some challenges have also been identified, such as residual flavors, color instability, and difficulties in handling during formulation. These issues have been addressed through strategies such as selecting the type of whey, adjusting the degree of hydrolysis, and incorporating natural sweeteners or colorants. The growing consumer interest in health-promoting sweets, without compromising flavor or appearance, has driven the development of functional confectionery based on alternative ingredients. The reviewed literature shows that whey valorization offers a viable path to transform an agro-industrial by-product into a functional ingredient with innovative, sustainable, and commercially promising applications.



Palabras clave: Confitería funcional, innovación alimentaria sostenible, péptidos bioactivos, prebióticos, subproductos lácteos, valorización del suero lácteo.

Keywords: Bioactive peptides, dairy by-products, functional confectionery, prebiotics, sustainable food innovation, whey valorization.

1. INTRODUCCIÓN: ¿POR QUÉ HABLAR DE ESTO HOY?

Cada año, la industria láctea produce más de 200 millones de toneladas de suero, un líquido que se genera principalmente durante la elaboración de queso y yogur (Chen *et al.*, 2023). Aunque a simple vista parezca un residuo sin valor, su eliminación inadecuada puede causar problemas ambientales. El suero presenta una alta carga orgánica, debida sobre todo a su elevado contenido de lactosa y a la presencia de proteínas solubles, lo que lo convierte en una fuente potencial de contaminación si se vierte sin tratamiento en ríos o cuerpos de agua. Esta composición incrementa la demanda química de oxígeno (DQO) del medio receptor, lo que reduce la disponibilidad de oxígeno y favorece alteraciones del equilibrio de los ecosistemas acuáticos (Soumati *et al.*, 2023). Para procesarlo de forma segura, se requiere infraestructura costosa, lo que resulta difícil de asumir para muchas pequeñas y medianas empresas (Amaral y Silva, 2021).

Ante esta problemática, ha crecido el interés por aprovechar el suero en lugar de desecharlo. Este enfoque, conocido como valorización de residuos agroindustriales, busca reducir el impacto ambiental y, al mismo tiempo, generar productos con valor añadido (Ribeiro Fortes *et al.*, 2024). Así, el suero ha sido incorporado en bebidas fermentadas, como bebidas probióticas o formulaciones frutales fermentadas; en suplementos, por ejemplo, bebidas deportivas o proteicas; y en alimentos funcionales, como cremas untables o bebidas enriquecidas con compuestos bioactivos (AbdulAlim *et al.*, 2018; Salgado *et al.*, 2023; Skryplonek *et al.*, 2019; Trindade *et al.*, 2019). Además, mediante procesos enzimáticos, la lactosa puede transformarse en galacto-oligosacáridos (GOS) e incluso en azúcares más simples, como glucosa y galactosa, compuestos de interés tecnológico y nutricional (Geiger *et al.*, 2016; Limnaios *et al.*, 2023).

Entre las aplicaciones más recientes destaca su uso en confitería: desde caramelos y gomitas hasta productos tradicionales revalorizados, como el *kishk*, una mezcla fermentada de leche y trigo, tradicional de Medio Oriente, que suele elaborarse con yogur y trigo precocido partido (*bulgur*), y en cuya reformulación se ha evaluado el uso de suero ácido concentrado como sustituto de la leche fermentada (Dimassi, 2024). El suero también puede utilizarse como base para procesos de fermentación o de producción biológica, por ejemplo, para la obtención de biomasa microbiana, compuestos bioactivos o ingredientes funcionales con potencial de beneficio para la salud (Delgado-Macuil *et al.*, 2025; Ribeiro Fortes *et al.*, 2024).

En particular, la incorporación de concentrado de proteína de suero en dulces funcionales ha mostrado beneficios como un mejor perfil nutricional y una reducción del aporte calórico cuando se combina con edulcorantes

alternativos, como el isomalt, un poliol de bajo contenido calórico y escaso efecto sobre la glucosa en sangre, o el jarabe de alcachofa de Jerusalén, utilizado como sustituto parcial del azúcar y valorado por su contenido de fructanos tipo inulina, asociados con efecto prebiótico (Lazarev y Ershova, 2023; Mudannayake *et al.*, 2022; Qin *et al.*, 2023).

Por su capacidad para unir ciencia, salud y placer sensorial, entendido como la experiencia agradable que provoca el sabor, la textura y el aroma de un alimento, el uso del suero en confitería funcional representa una alternativa prometedora. Convertir un subproducto en un dulce nutritivo permite repensar el valor de lo que antes se consideraba desperdicio. Por ello, el objetivo de esta revisión fue explorar el uso del suero lácteo como ingrediente funcional en productos de confitería, y analizar sus ventajas tecnológicas, sensoriales y nutricionales en el desarrollo de dulces más sostenibles.

En este sentido, las proteínas del suero aportan valor nutricional y, al mismo tiempo, presentan propiedades tecnológicas de interés en sistemas de confitería, entre ellas la emulsificación, la formación de espuma y geles, así como la estabilización de matrices complejas, lo que favorece el ajuste de la textura, la estructura y la aceptabilidad del producto final (Andoyo *et al.*, 2023; Ghanimah, 2018; Kalinovskaya y Bogodist, 2021; Lazarev y Ershova, 2023).

Para facilitar la comprensión de los términos técnicos que aparecen a lo largo del texto, en la Figura 1 se incluye un glosario visual que explica de manera sencilla qué son y para qué sirven ingredientes como el concentrado y el aislado de proteína de suero (WPC y WPI), los GOS y los péptidos bioactivos, todos ellos utilizados en la elaboración de dulces como gomitas, caramelos o malvaviscos.

2. ¿QUÉ ES EL SUERO LÁCTEO Y POR QUÉ SUELE DESECHARSE?

Cada año, la industria láctea genera más de 200 millones de toneladas de suero, lo que ilustra la magnitud del reto asociado a su aprovechamiento y disposición (Chen *et al.*, 2023). El suero lácteo es el líquido resultante de la coagulación de la leche durante la elaboración de quesos o productos fermentados como el yogur. Existen dos tipos principales: el suero dulce, generado en la producción de quesos duros mediante cuajo, y el suero ácido, derivado de la elaboración de quesos blandos o yogur mediante acidificación (Goyal *et al.*, 2023; Yadav *et al.*, 2015).

Desde el punto de vista de su composición, el suero contiene alrededor del 75% de la lactosa presente en la leche, entre un 12% y 14% de proteínas solubles, así como minerales, vitaminas y ácidos orgánicos (Alkan *et al.*, 2019). Las proteínas predominantes, β -lactoglobulina y

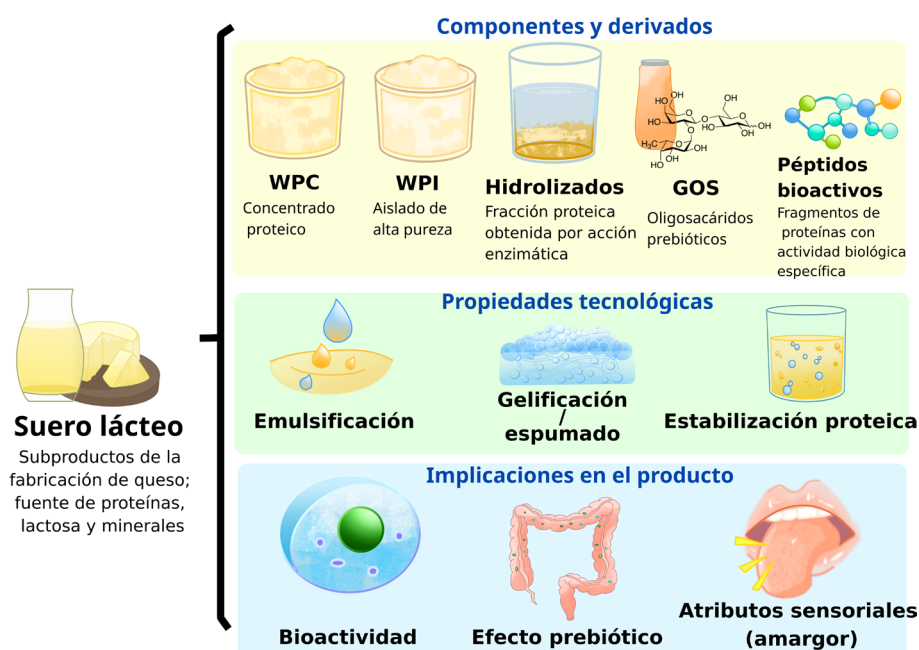


Figura 1. Glosario visual de términos e ingredientes derivados del suero lácteo utilizados en productos de confitería. Se ilustran y definen conceptos clave como WPC, WPI, GOS y péptidos bioactivos, con el fin de facilitar su comprensión y contextualización en la formulación de caramelos, gomitas y malvaviscos.

α -lactoalbúmina, poseen alto valor nutricional y funcional, lo que ha motivado su estudio como ingredientes en productos alimenticios enriquecidos (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2020). Por ejemplo, se han incorporado en galletas suplementadas con concentrado de proteína de suero, en bebidas formuladas a base de suero y en cremas unttables enriquecidas con β -glucanos, lo que evidencia su versatilidad en el diseño de alimentos con valor añadido (Ahmed *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2015; Zanon *et al.*, 2020). Por su riqueza en compuestos útiles, el suero se considera un recurso con potencial para aplicaciones alimentarias y biotecnológicas. Entre estas últimas se ha explorado su uso en procesos de fermentación para obtener bioetanol, biomasa microbiana, ácidos orgánicos y otros ingredientes funcionales de interés industrial (Goyal *et al.*, 2023; Zotta *et al.*, 2020).

Sin embargo, en la práctica, su aprovechamiento sigue siendo limitado. Su alto contenido de materia orgánica, medido mediante parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la DQO, dificulta su eliminación sin causar daños ambientales. Además, se ha estimado que una fracción importante del suero producido a nivel mundial aún no se valoriza adecuadamente, lo que incrementa las pérdidas de nutrientes y la presión ambiental asociada a su disposición (Soumati *et al.*, 2023). Si se vierte sin tratamiento, puede contaminar ríos o lagos, provocando eutrofización (una acumulación excesiva de nutrientes que altera el equilibrio del ecosistema) y otros efectos negativos sobre los microorganismos acuáticos (Zandona *et al.*, 2021). Además, su tratamiento requiere tecnologías costosas, lo que representa un obstáculo para muchas pequeñas y medianas empresas (Almeida *et al.*, 2023).

El suero ácido es aún más problemático debido a su bajo pH y menor estabilidad microbiológica, lo que

dificulta su reutilización directa (Sudibyo *et al.*, 2021). Aunque se han propuesto alternativas como el uso de biodigestores para convertirlo en energía (biogás) mediante digestión anaerobia, su aplicación a gran escala aún es limitada (Almeida *et al.*, 2023). También se están desarrollando modelos de biorrefinería, donde el suero se transforma en productos como etanol, ácidos orgánicos o ingredientes funcionales, aunque su viabilidad técnica y económica sigue en evaluación (Goyal *et al.*, 2023; Rosseto *et al.*, 2023).

Aprovechar el suero lácteo implica encontrar formas de integrarlo en productos atractivos, estables y funcionales, además de resolver un problema ambiental. El reto está en hacerlo compatible con las demandas del mercado, sin perder de vista su potencial nutricional y tecnológico.

3. DE DESECHO A RECURSO: POTENCIAL Y APLICACIONES DEL SUERO LÁCTEO

La forma en que se percibe el suero lácteo en los ámbitos científico y alimentario ha cambiado de manera importante. Lo que durante mucho tiempo se trató como un residuo difícil de manejar ahora se reconoce como una materia prima con múltiples posibilidades de aprovechamiento en sistemas alimentarios y biotecnológicos (Panghal *et al.*, 2018; Soumati *et al.*, 2023; Svntzouri *et al.*, 2025).

Uno de los usos más extendidos ha sido el desarrollo de bebidas a base de suero, incluidas bebidas deportivas, formulaciones fermentadas y productos orientados al bienestar físico, debido a su bajo costo y a su valor

funcional en matrices líquidas (Trindade *et al.*, 2019; Zotta *et al.*, 2020). También se ha incorporado a helados, postres y bebidas, combinados con otros ingredientes de origen vegetal o agroindustrial, lo que amplía su aprovechamiento en esquemas de formulación más sostenibles (Meneses, 2024; Salgado *et al.*, 2023; Trejo-Flores *et al.*, 2023). Además, se ha incorporado a bebidas, postres y otras formulaciones alimentarias con valor añadido, mientras que su aplicación en productos de confitería funcional se aborda con mayor detalle en una sección posterior de este manuscrito. En este panorama, el suero se perfila como un recurso aprovechable para el desarrollo de nuevos productos, por sus atributos tecnológicos y funcionales, así como por su potencial de integración en esquemas de formulación más sostenibles (Meneses, 2024; Trejo-Flores *et al.*, 2023; Zotta *et al.*, 2020).

Otra ruta de aprovechamiento se basa en la fermentación, en la que los microorganismos transforman los componentes del suero en productos de mayor valor añadido. Entre ellos se encuentran biomasa microbiana, bioetanol, ácidos orgánicos, bebidas fermentadas e ingredientes funcionales, lo que amplía su interés más allá del uso directo en alimentos convencionales (Goyal *et al.*, 2023; Kaya *et al.*, 2024; Zotta *et al.*, 2020). Esto ha reforzado su papel en estrategias de valorización orientadas a reducir desperdicios y a diversificar la oferta de productos.

El aprovechamiento del suero también se ha extendido a materiales con aplicaciones no alimentarias. Se han desarrollado bioplásticos, películas y empaques biodegradables a partir de compuestos derivados del suero, lo que contribuye a cerrar ciclos de uso en la cadena láctea y a disminuir la presión ambiental asociada a su disposición (Rosseto *et al.*, 2023; Tamošaitis *et al.*, 2022).

Estas aplicaciones muestran que valorar el suero lácteo implica mucho más que reincorporar un subproducto al sistema productivo. Supone integrarlo en esquemas de aprovechamiento en los que sus fracciones pueden destinarse a alimentos, ingredientes funcionales, bioprocesos y biomateriales, en sintonía con modelos de producción más sostenibles (Soumati *et al.*, 2023; Zandona *et al.*, 2021).

4. EL AUGE DE LOS ALIMENTOS FUNCIONALES

En los últimos años, los alimentos funcionales han pasado de ser una categoría emergente a ocupar un lugar destacado en la oferta alimentaria a nivel mundial. Aunque no existe una única definición aceptada, este término se usa para describir alimentos que, además de nutrir, apoyan la salud al prevenir enfermedades o al mejorar funciones del cuerpo, como la digestión, la

inmunidad o el metabolismo (Baker *et al.*, 2022; Rezai *et al.*, 2017). La idea surgió a finales del siglo XX y ha evolucionado con los avances científicos en nutrición, integrando compuestos como péptidos, polifenoles, prebióticos y probióticos, cuyos efectos positivos se han demostrado mediante biomarcadores, es decir, indicadores medibles en el cuerpo (Baker *et al.*, 2022).

En este contexto, el suero lácteo ha ganado protagonismo. Estudios recientes muestran que su consumo, especialmente el de sus fracciones proteicas, reduce los niveles de marcadores de inflamación, como la proteína C reactiva, la interleucina-6 y el TNF- α . Estos beneficios se han observado sobre todo en personas con sobrepeso, obesidad o enfermedades metabólicas (Stožinić *et al.*, 2024). Además, su incorporación en alimentos funcionales ya se ha explorado en matrices concretas, como bebidas fermentadas con cultivos probióticos y productos horneados enriquecidos con concentrado de proteína de suero, donde se han descrito mejoras en la viabilidad microbiana, el aporte proteico y la aceptabilidad del producto (Ahmed *et al.*, 2019; Skryplonek *et al.*, 2019). Estas aplicaciones muestran que el suero puede integrarse en formulaciones orientadas a la salud más allá de los lácteos tradicionales.

El interés por este tipo de alimentos se relaciona con una mayor conciencia sobre la conexión entre la dieta y la salud, en un mundo afectado por enfermedades crónicas y estilos de vida poco saludables (Gordana *et al.*, 2024; Verneau *et al.*, 2019). Factores como el envejecimiento de la población, el aumento del sobrepeso y la experiencia de la pandemia de COVID-19 han impulsado la búsqueda de alimentos que fortalezcan el sistema inmune, favorezcan la microbiota intestinal y apoyen la salud metabólica (Horská *et al.*, 2023; Wróbel *et al.*, 2021).

En esta tendencia, el suero lácteo ofrece ventajas tecnológicas y nutricionales que favorecen su uso en productos formulados para públicos con necesidades específicas, ya sea mediante bebidas con probióticos, ingredientes proteicos para suplementación o matrices horneadas enriquecidas (Ahmed *et al.*, 2019; Skryplonek *et al.*, 2019).

Cada vez más, los consumidores buscan alimentos que combinen placer y bienestar. Esto ha llevado a una transformación de categorías que antes se consideraban solo indulgentes, como las de los dulces. La idea de que un caramelo o una golosina pueda ser sabroso y, al mismo tiempo, saludable ha cambiado las expectativas, sobre todo entre mujeres y jóvenes, quienes tienden a preferir opciones con beneficios funcionales (Corso *et al.*, 2018; Domiter *et al.*, 2020; MI *et al.*, 2023).

En el mercado, los alimentos funcionales han pasado de

estar centrados en productos fortificados (como leches con vitaminas o yogures con probióticos) a desarrollar nuevas matrices, es decir, presentaciones como *snacks*, bebidas o confitería, que integran ingredientes naturales con propiedades bioactivas (Palmieri *et al.*, 2022). Además, las regulaciones en varios países exigen que las declaraciones de salud estén respaldadas por evidencia científica, lo que ha elevado el nivel de exigencia en la formulación de estos productos (Vecchio *et al.*, 2016).

En este escenario, el suero de leche se perfila como un ingrediente con potencial para el desarrollo de productos de confitería funcional. Por ejemplo, ya se ha evaluado su uso en malvaviscos o pastillas de bajo aporte calórico enriquecidos con concentrado de proteína de suero y edulcorantes alternativos, con incrementos en el contenido proteico y formulaciones de menor densidad energética (Lazarev y Ershova, 2023). Todo este contexto abre oportunidades para ingredientes no convencionales, como el suero lácteo, que, por su riqueza nutricional y versatilidad tecnológica, se perfila como un candidato viable para diseñar dulces funcionales que promuevan la salud sin renunciar al sabor.

5. DULCES FUNCIONALES: MÁS ALLÁ DEL GUSTO

Los dulces funcionales son productos de confitería que, además de tener un sabor agradable, contienen ingredientes bioactivos que pueden aportar beneficios para la salud. A diferencia de los dulces tradicionales, estas formulaciones incluyen compuestos como probióticos, péptidos antioxidantes, colágeno, vitaminas o fibras prebióticas, que pueden favorecer la digestión, el sistema inmunológico o el metabolismo (Colmenares-Cuevas *et al.*, 2024; Esfahani y Goli, 2022). En esta categoría se encuentran, por ejemplo, gomitas con colágeno, caramelos con probióticos, barritas con proteínas de suero o malvaviscos con microorganismos vivos.

Otra línea de investigación ha estudiado el uso de suero lácteo desmineralizado en mantequillas de leguminosas, con aplicaciones en la confitería. Por ejemplo, mezclas con un 10–30% de este tipo de suero y aceite de coco han mostrado mejoras en la textura y la firmeza, lo que facilita su uso en rellenos o coberturas (Stadnyk *et al.*, 2021).

Aunque los productos de confitería suelen estar asociados al placer y la indulgencia, reformulándolos con ingredientes funcionales, como las proteínas del suero, es posible convertirlos en alimentos que también benefician la salud. Algunas de estas proteínas han mostrado efectos positivos en marcadores de inflamación, lo que abre la posibilidad a crear dulces para personas con necesidades específicas, como el control del metabolismo o el envejecimiento saludable (Stožinić *et al.*, 2024).

El suero lácteo ha demostrado ser una fuente versátil de compuestos funcionales para este tipo de productos. Sus concentrados, aislados e hidrolizados proteicos aportan aminoácidos esenciales y contribuyen a la textura, la estabilidad y la mezcla de ingredientes, lo que favorece su incorporación en distintas matrices de confitería (Ahmed *et al.*, 2019; Andoyo *et al.*, 2023). Mediante hidrólisis enzimática, estas proteínas también pueden liberar péptidos bioactivos con actividad antioxidante, antihipertensiva y, en algunos casos, con capacidad inhibitoria de la dipeptidil peptidasa IV (DPP-IV), un mecanismo de interés por su posible relación con el control de la glucosa y la mejora de la resistencia a la insulina (García-Curiel *et al.*, 2025; Limnaios *et al.*, 2023; Téllez-Morales *et al.*, 2021). Entre las aplicaciones más concretas se han descrito gomitas y caramelos formulados con compuestos antioxidantes o con ingredientes prebióticos derivados del suero, como los galactooligosacáridos, incorporados por su efecto sobre la microbiota intestinal (Ibrahim *et al.*, 2020; Limnaios *et al.*, 2023). En este sentido, la Figura 2 se integró como apoyo visual para distinguir de manera más clara los aportes tecnológicos, nutricionales y funcionales atribuidos a los principales componentes del suero lácteo en productos de confitería.

Aplicaciones en confitería



Efectos en el producto final

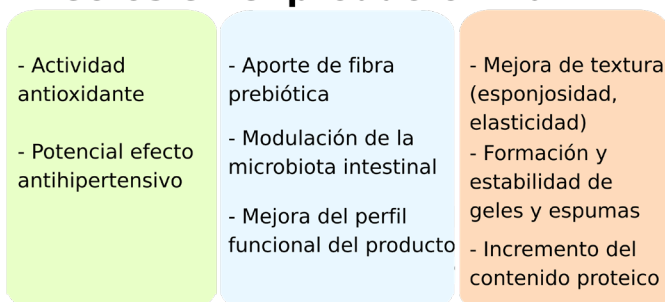


Figura 2. Mecanismos de acción funcional y tecnológica de los componentes del suero lácteo en la formulación de confitería. Se esquematizan los efectos de péptidos bioactivos, GOS y proteínas del suero sobre la microbiota, la actividad antioxidante, y las propiedades tecnofuncionales como la emulsificación, gelificación y formación de espuma.

También se han desarrollado malvaviscos funcionales bajos en calorías, elaborados con concentrado de proteína de suero y edulcorantes sin azúcar. En estos productos, una inclusión del 15% permitió mantener atributos sensoriales comparables a los del producto de referencia y, al mismo tiempo, aumentar el contenido proteico y reducir el aporte energético, lo que los hace atractivos para personas con requerimientos nutricionales especiales (Lazarev y Ershova, 2023).

Diversos estudios han documentado ejemplos exitosos de confitería funcional con ingredientes derivados del suero: malvaviscos con probióticos vivos, caramelos con compuestos antioxidantes naturales o gomitas con péptidos bioactivos que mantienen su funcionalidad incluso después del procesamiento térmico (Colmenares-Cuevas *et al.*, 2024; Ibrahim *et al.*, 2020; Lazarev y Ershova, 2023). A ello se suman formulaciones tipo pastilla o dulce compacto en las que el concentrado de proteína de suero funciona como base estructural, así como desarrollos en malvaviscos y pastillas enriquecidas que combinan proteína, reducción calórica y viabilidad tecnológica (Ghanimah, 2018; Lazarev y Ershova, 2023). Por lo tanto, estos antecedentes muestran que la confitería funcional basada en suero ya incluye ejemplos en gomitas, caramelos, rellenos, coberturas y malvaviscos, y que su desarrollo depende tanto de la bioactividad del ingrediente como de su comportamiento durante el procesamiento y el almacenamiento (Colmenares-Cuevas *et al.*, 2024; Stadnyk *et al.*, 2021; Stožinić *et al.*, 2024).

Todo esto muestra que la industria de la confitería está cambiando: los productos dulces buscan aportar beneficios reales para la salud, además de sus cualidades palatables. En este proceso, la incorporación de ingredientes funcionales abre oportunidades de innovación, aunque persisten desafíos relacionados con la estabilidad de los compuestos bioactivos y la aceptación sensorial del producto, aspectos que siguen siendo determinantes en el diseño de nuevas formulaciones para un mercado en constante evolución (Colmenares-Cuevas *et al.*, 2024; Máximo-Olguín *et al.*, 2025).

6. EL LABORATORIO DEL SABOR: RETOS Y OPORTUNIDADES

La incorporación de suero lácteo en confitería puede contribuir a mejorar el perfil nutricional del producto, por ejemplo, al aumentar su contenido proteico o incorporar compuestos con interés tecnológico y nutricional; sin embargo, ello no implica por sí mismo que el dulce final sea funcional, ya que ese atributo depende de la formulación completa, de la cantidad incorporada, de su estabilidad durante el procesamiento y de la validación de sus efectos en el producto terminado. También plantea desafíos importantes en cuanto al sabor, la textura y el procesamiento. Incorporar sus proteínas y azúcares, como la lactosa, en recetas dulces requiere ajustar las fórmulas tradicionales, ya que pueden afectar el sabor, la sensación al masticar, la apariencia y la vida útil del producto (Figura 3).

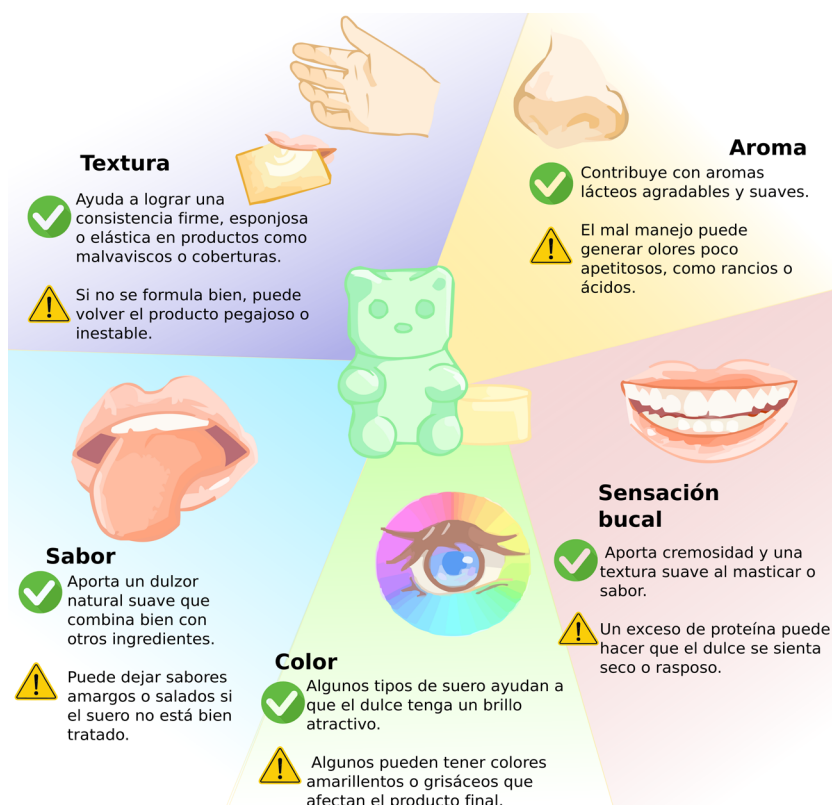


Figura 3. Atributos sensoriales relevantes en confitería y su modificación por el uso de suero lácteo. Se presentan los principales atributos sensoriales (textura, sabor, color) y se describe cómo los componentes del suero lácteo pueden influir en ellos de forma positiva o negativa.

Tabla 1. Retos y oportunidades en el uso del suero lácteo en confitería.

Retos identificados	Oportunidad	Referencia
Notas salobres o amargas asociadas al suero	Minimización mediante selección del tipo de suero y su grado de hidrólisis	(Lazarev & Ershova, 2023; Stožinić <i>et al.</i> , 2024)
Interferencia en la cobertura o endurecimiento de recubrimientos grasos	Ajustes en el procesamiento y proporción de sólidos	(Stadnyk <i>et al.</i> , 2022)
Adherencia y falta de extensibilidad en masas funcionales	Uso de DDW y aceite de coco para mejorar manejabilidad	(Stadnyk <i>et al.</i> , 2021)
Tonalidades visuales indeseadas (amarillentas o grisáceas)	Uso de estabilización proteica o colorantes naturales compatibles	(Lazarev & Ershova, 2023)
Compromiso de consistencia por humedad reducida o exceso de WPC	Ajuste en proporción de WPC y edulcorantes; formulación al 15 % de WPC aceptable sensorialmente	(Lazarev & Ershova, 2023)
Incremento del contenido proteico sin afectar sabor ni textura	Formulaciones metodológicamente ajustadas en caramelos y pastillas	(Zaytseva <i>et al.</i> , 2022)
Inestabilidad sensorial o físico-química en rellenos grasos	Optimización con hidrolizados de suero	(Stožinić <i>et al.</i> , 2024)

Uno de los retos más comunes es el sabor. Dependiendo del tipo de suero y de cómo fue procesado, puede generar notas ligeramente salobres o amargas, lo cual no siempre es deseable en un caramelo, un malvavisco o un relleno dulce. Para resolver esto, los investigadores han probado diferentes tipos de suero y niveles de hidrólisis para modular el perfil sensorial sin comprometer la aceptabilidad del producto final (Lazarev y Ershova, 2023; Stožinić *et al.*, 2024). En productos de confitería, incluso ligeras variaciones en el sabor residual o el aroma pueden alterar de manera notable la percepción del consumidor, por lo que este ajuste cobra especial relevancia.

En cuanto a la textura, las proteínas del suero tienen propiedades útiles: pueden ayudar a formar espuma, estabilizar mezclas de ingredientes (función emulsificante) y formar geles. Esto es útil en productos como masas batidas o rellenos, ya que ayuda a retener la humedad y a aportar volumen (Kalinovskaya y Bogodist, 2021). Sin embargo, estas mismas propiedades pueden ser un problema en ciertos recubrimientos en los que retener agua no es deseable. Para solucionarlo, se han ajustado los tiempos de procesamiento y las proporciones de sólidos en las formulaciones (Stadnyk *et al.*, 2022). Por ello, el efecto del suero no es uniforme entre matrices: una misma propiedad tecnológica puede ser ventajosa en malvaviscos o rellenos blandos, pero menos conveniente en coberturas o sistemas donde se busca menor humedad y mayor firmeza superficial.

También se ha evaluado el uso de ingredientes de suero con reducción de minerales en combinación con ingredientes vegetales. Por ejemplo, al incorporarlos a mantequillas de frijol se obtuvo una textura menos pegajosa y más manejable, con características similares a las del mazapán. La adición de aceite de coco mejoró la estructura y favoreció el equilibrio del sabor, lo que facilita su uso como base para dulces rellenos o figuras decorativas (Stadnyk *et al.*, 2021). En este caso, el interés se centró tanto en el aporte nutricional como en la capacidad de modular propiedades como la extensibilidad, la moldeabilidad y la estabilidad de la matriz, aspectos determinantes en aplicaciones de confitería.

Otro reto es la apariencia. Algunas fracciones del suero pueden presentar tonalidades amarillas o grisáceas tras su procesamiento térmico, lo que no siempre se ajusta

bien a la estética esperada en un dulce. Este efecto puede corregirse mediante colorantes naturales compatibles y estrategias de estabilización de proteínas (Lazarev y Ershova, 2023). En productos como comprimidos, se ha evaluado el impacto de distintas concentraciones de concentrado proteico de suero sobre la textura, el sabor y la estructura. Cuando la humedad es muy baja, el producto se vuelve quebradizo. Y si hay demasiada proteína, puede presentar sabores residuales no deseados. Sin embargo, con un 15% de este ingrediente y ajustes en los edulcorantes, se logró una fórmula que mantiene el sabor y la textura similares a las convencionales (Lazarev y Ershova, 2023). Esto muestra que la incorporación de derivados del suero exige equilibrar variables sensoriales y físicoquímicas de manera simultánea, más que añadir el ingrediente de forma aislada.

A nivel nutricional, incorporar proteínas de suero permite elevar el contenido proteico del producto, lo cual responde al interés creciente por alimentos con una composición más favorable. En caramelos y comprimidos, se ha demostrado que esto es posible sin comprometer el sabor, siempre que se realicen ajustes adecuados (Zaytseva *et al.*, 2022). También se han mejorado los rellenos grasos mediante hidrolizados de suero, lo que ha mejorado la textura y la estabilidad (Stožinić *et al.*, 2024). No obstante, en el contexto de la confitería, estos avances deben entenderse como mejoras potenciales del perfil nutricional y tecnológico, más que como evidencia suficiente de funcionalidad por sí sola. La posible contribución del suero dependerá de la dosis incorporada, de la matriz alimentaria y de la conservación de sus propiedades durante el procesamiento y el almacenamiento.

Por lo tanto, la incorporación de suero lácteo en la confitería implica ajustar el sabor, la textura, la apariencia, la humedad y la estabilidad según el tipo de dulce que se desea formular. Más que una simple sustitución de ingredientes, este proceso requiere rediseñar la formulación para compatibilizar el comportamiento tecnológico del suero con las expectativas sensoriales del consumidor y con el objetivo nutricional del producto. La Tabla 1 resume los principales desafíos y soluciones reportados en investigaciones recientes, pero estos deben interpretarse como orientaciones generales cuya aplicación depende de cada matriz de confitería y de las condiciones específicas de formulación.

La Figura 4 representa una visión general del proceso de desarrollo de un dulce con ingredientes derivados del suero, mientras que los ejemplos discutidos en esta sección se centran de manera más específica en los ajustes requeridos para resolver problemas sensoriales, tecnológicos y de estabilidad durante la formulación.



Figura 4. Principales etapas en el diseño y desarrollo de productos de confitería funcional con suero lácteo. Se describen los pasos clave en la incorporación de ingredientes funcionales derivados del suero en confitería, desde la selección del ingrediente hasta la evaluación sensorial del producto final.

7. ¿Y QUÉ PIENSA EL CONSUMIDOR?

Hoy en día, las decisiones de compra en el mundo de los dulces reflejan un cambio importante: muchas personas buscan productos que ofrezcan placer al comer, pero también beneficios para la salud. Aunque los dulces siguen siendo sinónimos de gusto y antojo, la preocupación por enfermedades como la obesidad o la diabetes ha hecho que los consumidores se interesen cada vez más por

opciones con menos azúcar o con ingredientes funcionales (Granato *et al.*, 2020; Pronina *et al.*, 2024).

Esto se traduce en una demanda concreta de dulces bajos en azúcar, enriquecidos con vitaminas, minerales o compuestos saludables, o que contengan fibras con efecto prebiótico, las cuales favorecen la microbiota intestinal (Saritaş *et al.*, 2024; Vojvodić Cebin *et al.*, 2024). Para lograrlo, se han usado ingredientes como isomalt o inulina, que permiten mantener la textura y el dulzor, pero con un menor impacto en los niveles de glucosa en sangre (Esfahani y Goli, 2022; Ünal y Arslan, 2022). En el caso de los productos con suero lácteo, la percepción del consumidor depende de que el ingrediente aporte una ventaja reconocible, como un mayor contenido proteico o una menor densidad energética, sin alterar negativamente los atributos sensoriales esperados en un dulce. Por ejemplo, en malvaviscos tipo pastilla formulados con concentrado de proteína de suero y sustitución de azúcar por isomalt y jarabe de alcachofa de Jerusalén, la aceptación sensorial no fue uniforme entre formulaciones: la adición de 15% de concentrado proteico permitió mantener olor, sabor y características externas cercanas al control, mientras que niveles de 5% y 30% mostraron menores calificaciones organolépticas, ya fuera por textura demasiado seca y densa o por olor y sabor proteicos más notorios (Lazarev y Ershova, 2023).

Sin embargo, la aceptabilidad sensorial sigue siendo fundamental. Las personas pueden estar dispuestas a consumir dulces funcionales, pero solo si estos mantienen una apariencia atractiva, un sabor agradable y una textura adecuada. Estudios sensoriales muestran que si el producto presenta regusto metálico (como ocurre con ciertos edulcorantes) o una textura inusual, la intención de recompra disminuye considerablemente (Banaş *et al.*, 2018; Bartkiene *et al.*, 2021). En productos de confitería enriquecidos con hidrolizados de suero, también se ha observado que la respuesta del consumidor o del panel sensorial depende del tipo de ingrediente incorporado. En rellenos grasos para confitería, la incorporación de 5% de hidrolizados enzimáticos de suero mejoró atributos como la textura, la masticabilidad, el sabor y la apariencia frente al control, mientras que los hidrolizados obtenidos por fermentación conservaron una aceptabilidad cercana a la del producto base, aunque con menor ventaja sensorial (Stožinić *et al.*, 2024).

Estos resultados indican que la respuesta del consumidor integra tanto el valor percibido en salud como la experiencia sensorial global del producto, especialmente en categorías indulgentes como la confitería. En términos más amplios, cuando la formulación alcanza un equilibrio adecuado entre valor nutricional y calidad sensorial, la aceptación se mantiene en niveles elevados, como se ha observado en distintos desarrollos de confitería funcional. En el caso de productos con derivados del suero, esta respuesta

favorable se relaciona con la conservación de atributos familiares de sabor, textura y apariencia (Hovhannisyan *et al.*, 2024; Jendyose, 2024; Lazarev y Ershova, 2023).

La integración de atributos nutricionales y sensoriales está redefiniendo el desarrollo de dulces funcionales. El valor nutricional, por sí solo, resulta insuficiente si el producto no genera una experiencia sensorial atractiva. En otras palabras, el consumidor puede mostrar interés inicial por un dulce con proteína de suero o con menor contenido de azúcar, pero su aceptación sostenida depende de que el producto conserve características familiares de sabor, textura, apariencia y masticabilidad. Para ser aceptados, estos alimentos deben satisfacer simultáneamente las expectativas de bienestar y de disfrute asociadas al consumo de confitería.

8. CIENCIA, INNOVACIÓN Y FUTURO: ¿A DÓNDE VAMOS?

En los últimos años, el uso del suero lácteo como ingrediente funcional ha pasado de ser una posibilidad emergente a consolidarse como una estrategia viable para promover sistemas alimentarios más saludables y sostenibles. Su interés se debe tanto a su contenido proteico como a su versatilidad en formulaciones que aprovechan subproductos y diversifican la oferta alimentaria. Mediante procesos como la fermentación o la nanofibrilación, se han mejorado su estabilidad y funcionalidad, y se han reportado propiedades antimicrobianas que abren posibilidades para nuevas aplicaciones en matrices alimentarias más complejas (Hasan *et al.*, 2023; Skryplonek *et al.*, 2019).

Además, investigaciones recientes han demostrado que el consumo regular de suero de leche puede contribuir a reducir la inflamación en el organismo, lo que refuerza su valor como ingrediente tecnológico con un potencial beneficio adicional para la salud (Stožinić *et al.*, 2024). Sin embargo, trasladar este potencial a productos específicos seguirá requiriendo evidencia más sólida sobre las dosis efectivas, la estabilidad de los compuestos activos y su comportamiento en cada matriz alimentaria (García-Curiel *et al.*, 2025; Stožinić *et al.*, 2024).

Gracias a estos avances, ya se han desarrollado productos como bebidas, cremas y snacks funcionales que combinan suero con ingredientes estratégicos como β -glucanos o harinas vegetales. Estas formulaciones mejoran el perfil nutricional y responden a una demanda creciente de alimentos saludables y sostenibles (Salgado *et al.*, 2023; Zanon *et al.*, 2020). A partir de estos antecedentes, las tendencias actuales se orientan hacia el diseño de productos más especializados, en los que el suero participa tanto como

ingrediente de enriquecimiento como componente de sistemas alimentarios dirigidos a funciones específicas, entre ellas la modulación de la textura, la estabilidad, la digestibilidad y la liberación de compuestos bioactivos (Andoyo *et al.*, 2023; Stožinić *et al.*, 2024).

Un ejemplo interesante es el del chocolate blanco sin azúcar. Reemplazar la sacarosa ha llevado a explorar combinaciones, como el aislado de proteína de suero (WPI) con eritritol, un edulcorante sin calorías. Esta mezcla ayudó a crear un chocolate con mejor textura y firmeza, menor humedad y sin necesidad del proceso tradicional de templado, todo ello sin sacrificar el sabor ni el aspecto (Nastaj *et al.*, 2024). En esta línea, el futuro de la innovación no dependerá únicamente de sustituir ingredientes, sino de comprender con mayor precisión cómo interactúan las proteínas del suero con edulcorantes, grasas, hidrocoloides y otros componentes para construir matrices más estables y sensorialmente aceptables (Kalinovskaya y Bogodist, 2021; Nastaj *et al.*, 2024).

Otra innovación radica en el uso de tecnologías como la ultrafiltración, que permite obtener concentrados proteicos a partir del suero. Estos concentrados ya se han incorporado en malvaviscos funcionales con menos calorías y más proteínas, manteniendo una buena estabilidad y aceptabilidad sensorial (Lazarev y Ershova, 2023). Hacia adelante, este tipo de tecnologías podría complementarse con estrategias de hidrólisis controlada, fermentación dirigida y fraccionamiento selectivo para obtener ingredientes más uniformes, con mejor desempeño tecnológico y perfiles sensoriales más favorables (García-Curiel *et al.*, 2025; Lazarev y Ershova, 2023; Stožinić *et al.*, 2024).

Eso sí, el éxito de estos productos depende de que también sean agradables al comer. Si el sabor o la textura no convence, el consumidor lo rechaza. Por eso, muchas investigaciones se centran en mejorar el sabor del suero mediante fermentaciones dirigidas o ajustes en el procesamiento culinario (AbdulAlim *et al.*, 2018; Vieira *et al.*, 2020). De hecho, uno de los principales retos futuros consistirá en compatibilizar el valor nutricional y funcional del suero con expectativas sensoriales cada vez más altas, especialmente en categorías indulgentes como la confitería, donde pequeños cambios en el aroma, la masticabilidad o la apariencia pueden afectar la aceptación del producto (Lazarev y Ershova, 2023; Stožinić *et al.*, 2024).

En este panorama, el consumidor influye activamente en la orientación de la innovación alimentaria mediante sus demandas en materia de salud, sostenibilidad y experiencia sensorial. El suero lácteo, tradicionalmente subutilizado, puede integrarse como ingrediente funcional en nuevos desarrollos, favoreciendo el

aprovechamiento de subproductos industriales y la creación de alimentos con mayor valor añadido, alineados con los retos actuales del sector. A futuro, su aprovechamiento dependerá de la capacidad de la investigación para articular el escalamiento industrial, la evidencia funcional, la aceptación del consumidor y la viabilidad regulatoria dentro de una misma estrategia de desarrollo (García-Curiel *et al.*, 2025; Soumati *et al.*, 2023; Stožinić *et al.*, 2024).

Bajo este enfoque, los dulces funcionales formulados con suero lácteo representan una aplicación concreta del conocimiento científico orientado al aprovechamiento de subproductos agroindustriales. Su desarrollo responde a la necesidad de soluciones alimentarias más sostenibles y técnicamente viables. Más que una línea ya resuelta, este campo se perfila como un espacio de innovación en construcción, donde el futuro inmediato estará marcado por formulaciones más precisas, procesos más limpios y productos capaces de combinar valor nutricional, estabilidad tecnológica y aceptación sensorial (Hasan *et al.*, 2023; Lazarev y Ershova, 2023; Stožinić *et al.*, 2024). Por lo tanto, la confitería con suero lácteo puede entenderse como una plataforma prometedora para explorar cómo la ciencia de alimentos transforma un subproducto en desarrollos con proyección tecnológica y comercial.

9. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La literatura revisada muestra que el suero lácteo puede aprovecharse en productos de confitería como vía de valorización de un subproducto agroindustrial de interés tecnológico, nutricional y, en ciertos casos, funcional. Su incorporación en dulces permite mejorar atributos como el contenido proteico, la textura, la estabilidad y la diversificación de las formulaciones, siempre que su uso se ajuste a las características de cada matriz y a los objetivos específicos del producto.

Sin embargo, su aplicación en confitería se relaciona tanto con su composición y sus propiedades potenciales como con la capacidad de integrarlo sin afectar el sabor, la apariencia, la textura ni la aceptabilidad sensorial. En este sentido, la evidencia revisada indica que el aprovechamiento del suero se aborda como una

estrategia de formulación que exige ajustes tecnológicos precisos, orientados a compatibilizar la innovación, la viabilidad del proceso y la respuesta del consumidor.

La revisión sugiere que el principal valor del suero lácteo en confitería radica en su capacidad para transformar un residuo con carga ambiental en un ingrediente con posibilidades reales de uso en desarrollos alimentarios de mayor valor añadido. Desde esta perspectiva, su contribución abarca tanto el enriquecimiento de productos dulces como su incorporación a esquemas de producción más sostenibles y orientados al aprovechamiento integral de las materias primas.

Hacia adelante, el campo requiere fortalecer la evidencia sobre la estabilidad en distintas matrices, la aceptabilidad sensorial a largo plazo y la validación de los efectos fisiológicos cuando se planteen formulaciones con aspiración funcional. Más que ampliar el número de aplicaciones, el siguiente paso consiste en consolidar criterios de formulación y evaluación que permitan distinguir con mayor claridad entre el enriquecimiento nutricional, el desempeño tecnológico y la funcionalidad demostrada en productos de confitería basados en suero lácteo.

La literatura revisada muestra que el suero lácteo puede aprovecharse en productos de confitería como vía de valorización de un subproducto agroindustrial de interés tecnológico, nutricional y, en ciertos casos, funcional. Su incorporación en dulces permite mejorar atributos como el contenido proteico, la textura, la estabilidad y la diversificación de las formulaciones, siempre que su uso se ajuste a las características de cada matriz y a los objetivos específicos del producto.

Sin embargo, su aplicación en confitería se determina por su composición y sus propiedades potenciales, así como por su capacidad de integrarse sin afectar el sabor, la apariencia, la textura ni la aceptabilidad sensorial. En este sentido, la evidencia revisada indica que el aprovechamiento del suero se plantea como una estrategia de formulación que requiere ajustes tecnológicos precisos, orientados a compatibilizar la innovación, la viabilidad del proceso y la respuesta del consumidor.



- AbdulAlim, T.S., A.F. Zayan, P.H. Campelo, A.M. Bakry. 2018. Development of new functional fermented product: mulberry-whey beverage. *Journal of Nutrition, Food Research and Technology*. 1(3): 64-69. <https://doi.org/10.30881/jnfrt.00013>.
- Ahmed, H.A.M., S.A. Ashraf, A.M. Awadelkareem, J. Alam, A.I. Mustafa. 2019. Physico-Chemical, Textural and Sensory Characteristics of Wheat Flour Biscuits Supplemented with Different Levels of Whey Protein Concentrate. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*. 7(3): 761-771. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.7.3.15>.
- Alkan, Z., Z. Ergi-Nkaya, G. Konuray, E. Ünal Turhan. 2019. Production of biosurfactant by lactic acid bacteria using whey as growth medium. *TURKISH JOURNAL OF VETERINARY AND ANIMAL SCIENCES*. 43(5): 676-683. <https://doi.org/10.3906/vet-1903-48>.
- Almeida, M.P.G.D., G. Mockaitis, D.G. Weissbrodt. 2023. Got Whey? Sustainability Endpoints for the Dairy Industry through Resource Biorecovery. *Fermentation*. 9(10): 897. <https://doi.org/10.3390/fermentation9100897>.
- Amaral, D.D.A., J.A.F.D. Silva. 2021. Whey in the industry: environmental and valorization impacts. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. : 41-57. <https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/environmental-engineering-en/whey>.
- Andoyo, R., A.Z. Diani, F. Fetriyuna. 2023. Effect of heating temperature on physical, functional, and digestibility properties of Whey Protein Concentrate (WPC). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1230(1): 012155. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012155>.
- Baker, M.T., P. Lu, J.A. Parrella, H.R. Leggette. 2022. Consumer Acceptance toward Functional Foods: A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(3): 1217. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031217>.
- Banaš, A., A. Korus, J. Korus. 2018. Texture, Color, and Sensory Features of Low-Sugar Gooseberry Jams Enriched with Plant Ingredients with Prohealth Properties. *Journal of Food Quality*. 2018: 1-12. <https://doi.org/10.1155/2018/1646894>.
- Bartkiene, E., E. Mockus, E. Mozurienne, J. Klementaviciute, E. Monstaviciute, V. Starkute, P. Zavistanaviciute, E. Zokaityte, D. Cernauskas, D. Klupsaite. 2021. The Evaluation of Dark Chocolate-Elicited Emotions and Their Relation with Physico-Chemical Attributes of Chocolate. *Foods*. 10(3): 642. <https://doi.org/10.3390/foods10030642>.
- Chen, G.Q., Y. Qu, S.L. Gras, S.E. Kentish. 2023. Separation Technologies for Whey Protein Fractionation. *Food Engineering Reviews*. 15(3): 438-465. <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09330-2>.
- Colmenares-Cuevas, S.I., A. Contreras-Oliva, J. Salinas-Ruiz, J.V. Hidalgo-Contreras, E. Flores-Andrade, E.J. García-Ramírez. 2024. Development and study of the functional properties of marshmallow enriched with bee (*Apis mellifera*) honey and encapsulated probiotics (*Lactobacillus rhamnosus*). *Frontiers in Nutrition*. 11: 1353530. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1353530>.
- Corso, M., D. Kalschne, M. Benassi. 2018. Consumer's Attitude Regarding Soluble Coffee Enriched with Antioxidants. *Beverages*. 4(4): 72. <https://doi.org/10.3390/beverages4040072>.
- Delgado-Macuil, R.J., B. Perez-Armendariz, G.A. Cardoso-Ugarte, S.E.M. Tolibia, A.C. Benítez-Rojas. 2025. Recent Biotechnological Applications of Whey: Review and Perspectives. *Fermentation*. 11(4): 217. <https://doi.org/10.3390/fermentation11040217>.
- Dimassi, O. 2024. Exploring the Potential of Kishk-like Novel Product in Solving the Acidic Whey Conundrum in the Dairy Industry. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. (Of). <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DRF-377>.
- Domiter, M., T. Ostrognjaj, I. Petrović Vidić, I. Banjari. 2020. Consumers' attitudes towards functional dairy market in Croatia - a cross-sectional study. *Mljekarstvo*. 70(4): 242-252. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2020.0402>.
- Esfahani, D.A., M. Goli. 2022. The effect of Stevioside-Isomalt, whey protein concentrate, and *Bacillus coagulans* on the physicochemical and sensory properties of Iranian probiotic Masghati sweet. *Journal of Food Processing and Preservation*. 46(10). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16028>.
- García-Curiel, L., O.L. Berenice, C.A. Elizabeth, P. Emmanuel, J.G. Pérez-Flores, G.L. Guillermo. 2025. DPP - IV Inhibitory Peptides From Whey Proteins: Production, Functional Mechanisms, Bibliometric Insights, and Future Directions for Type 2 Diabetes Therapy. *Peptide Science*. 117(2): e70000. <https://doi.org/10.1002/pep2.70000>.
- Geiger, B., H.-M. Nguyen, S. Wenig, H.A. Nguyen, C. Lorenz, R. Kittl, G. Mathiesen, V.G.H. Eijnsink, D. Haltrich, T.H. Nguyen. 2016. From by-product to valuable components: Efficient enzymatic conversion of lactose in whey using β -galactosidase from *Streptococcus thermophilus*. *Biochemical Engineering Journal*. 116: 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.04.003>.
- Ghanimah, M.A. 2018. Functional and technological aspects of whey powder and whey protein products. *International Journal of Dairy Technology*. 71(2): 454-459. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12436>.
- Gordana, T., M. Trina, G. Diana. 2024. Perception of Functional Food Among Croatian Consumers. *WSB Journal of Business and Finance*. 58(1): 1-8. <https://doi.org/10.2478/wsb-jbf-2024-0001>.
- Goyal, C., P. Dhyani, D.C. Rai, S. Tyagi, S.B. Dhull, P.K. Sath, J.S. Duhan, B.S. Saharan. 2023. Emerging Trends and Advancements in the Processing of Dairy Whey for Sustainable Biorefining. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2023: 1-24. <https://doi.org/10.1155/2023/6626513>.
- Granato, D., F.J. Barba, D. Bursać Kovačević, J.M. Lorenzo, A.G. Cruz, P. Putnik. 2020. Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annual Review of Food Science and Technology*. 11(1): 93-118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>.
- Hasan, Z., B. Zeshan, A. Hassan, N.H.A. Daud, A. Sadaf, N. Ahmed. 2023. Preparation and characterization of edible whey protein nanofibrils and efficacy studies on the quality and shelf-life of chilled food products. *Journal of Food Safety*. 43(3): e13034. <https://doi.org/10.1111/jfs.13034>.
- Horská, E., K. Predanócyová, P. Šedík, K.G. Grunert, D. Hupková. 2023. Consumer perception of functional foods and determinants of functional foods consumption in the Slovak Republic. *British Food Journal*. 125(7): 2478-2492. <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2022-0656>.

- Hovhannisyán, N., S. Abrahamyan, L. Grigoryan, S. Yeribekyan, H. Balasanyan, V. Grigoryan, L. Arstamyán, Arman Badalyan, Asya Badalyan. 2024. The use of secondary raw materials in confectionary production. *Functional Food Science - Online ISSN: 2767-3146*. 4(10): 390-400. <https://doi.org/10.31989/ffs.v4i10.1455>.
- Ibrahim, R.M., F.F. Abdel-Salam, E. Farahat. 2020. Utilization of Carob (&i&t;Ceratonia siliqua&i&t; L.) Extract as Functional Ingredient in Some Confectionery Products. *Food and Nutrition Sciences*. 11(08): 757-772. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.118054>.
- Jendyose, M. 2024. Development of Functional Foods with Enhanced Health Benefits. *Journal of Food Sciences*. 5(2): 29-42. <https://doi.org/10.47941/jfs.1846>.
- Kalinovskaya, T.V., E.Y. Bogodist. 2021. Research of functional and technological properties of whey protein concentrate in technologies of whipped candy masses. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 83(2): 169-174. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-169-174>.
- Kaya, B., E.R.K.B. Wijayarathna, Y.K. Yüceer, S. Agnihotri, M.J. Taherzadeh, T. Sar. 2024. The use of cheese whey powder in the cultivation of protein-rich filamentous fungal biomass for sustainable food production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 8: 1386519. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1386519>.
- Lazarev, V., A. Ershova. 2023. Functional confectionery product using whey protein concentrate development. *E3S Web of Conferences*. 451: 04008. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202345104008>.
- Limnaios, A., M. Tsevdou, E. Tsika, N. Korialou, A. Zerva, E. Topakas, P. Taoukis. 2023. Production of Prebiotic Galacto-Oligosaccharides from Acid Whey Catalyzed by a Novel β -Galactosidase from *Thermothielavioides terrestris* and Commercial Lactases: A Comparative Study. *Catalysts*. 13(10): 1360. <https://doi.org/10.3390/catal13101360>.
- Máximo-Olguín, A., E. Contreras-López, J.G. Pérez-Flores, L. García-Curiel, K. Soto-Vega, E. Pérez-Escalante. 2025. Extractos naturales y compuestos bioactivos en confitería: Análisis bibliométrico. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*. 13(26): 25-40. <https://doi.org/10.29057/icbi.v13i26.14038>.
- Meneses, A.D.S.D. 2024. Use of Cheese Whey by Fermentation Processes. *International Journal of Health Science*. 4(77): 2-19. <https://doi.org/10.22533/at.ed.1594772417084>.
- MI, B., L. Marchetti, A.S. Cecilia, G. Lorenzo. 2023. Native and freeze-dried bacterial nanocellulose as techno-functional ingredients of low-fat meat emulsions. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3373670/v1>.
- Mudannayake, D.C., D.D. Jayasena, K.M.S. Wimalasiri, C.S. Ranadheera, S. Ajlouni. 2022. Inulin fructans – food applications and alternative plant sources: a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 57(9): 5764-5780. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15947>.
- Nastaj, M., B.G. Sołowiej, K. Terpiłowski, W. Kucia, I.B. Tomasevic, J. Podkościelna. 2024. Effects of whey proteins and erythritol combination on the physical and quality characteristics of untempered, high-protein white chocolates without the saccharose addition. *International Dairy Journal*. 157: 106007. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.106007>.
- Palmieri, N., W. Stefanoni, F. Latterini, L. Pari. 2022. Factors Influencing Italian Consumers' Willingness to Pay for Eggs Enriched with Omega-3-Fatty Acids. *Foods*. 11(4): 545. <https://doi.org/10.3390/foods11040545>.
- Panghal, A., R. Patidar, S. Jaglan, N. Chhikara, S.K. Khatkar, Y. Gat, N. Sindhu. 2018. Whey valorization: current options and future scenario – a critical review. *Nutrition & Food Science*. 48(3): 520-535. <https://doi.org/10.1108/NFS-01-2018-0017>.
- Pereira, C.D., M. Henriques, D. Gomes, R. Gouveia, A. Gomez-Zavaglia, G. De Antoni. 2015. Fermented dairy products based on ovine cheese whey. *Journal of Food Science and Technology*. 52(11): 7401-7408. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1857-5>.
- Pronina, Y., O. Belozertseva, Z. Nabiyeva, A. Pirozzi, S. Carpentieri, G. Ferrari, E. Bazykhanova, A. Burluyayeva. 2024. Enhancing nutritional value and health benefits of gluten-free confectionery products: innovative pastilles and marshmallows. *Frontiers in Nutrition*. 10: 1321004. <https://doi.org/10.3389/frut.2023.1321004>.
- Qin, Y.-Q., L.-Y. Wang, X.-Y. Yang, Y.-J. Xu, G. Fan, Y.-G. Fan, J.-N. Ren, Q. An, X. Li. 2023. Inulin: properties and health benefits. *Food & Function*. 14(7): 2948-2968. <https://doi.org/10.1039/D2FO01096H>.
- Ramírez-Rodríguez, L.C., L.E. Díaz Barrera, M.X. Quintanilla-Carvajal, D.I. Mendoza-Castillo, A. Bonilla-Petriciolet, C. Jiménez-Junca. 2020. Preparation of a Hybrid Membrane from Whey Protein Fibrils and Activated Carbon to Remove Mercury and Chromium from Water. *Membranes*. 10(12): 386. <https://doi.org/10.3390/membranes10120386>.
- Rezai, G., P.K. Teng, M.N. Shamsudin, Z. Mohamed, J.L. Stanton. 2017. Effect of perceptual differences on consumer purchase intention of natural functional food. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*. 7(2): 153-173. <https://doi.org/10.1108/JADEE-02-2015-0014>.
- Ribeiro Fortes, A.P., J. De Nadae, J.A. García Sánchez. 2024. A proposal to implement circular economy practices in the milk production chain in the municipality of Wenceslau Braz. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*. 18. <https://doi.org/10.18011/bioeng.2024.v18.1239>.
- Rosseto, M., C.V.T. Rigueto, I. Alessandretti, R. De Oliveira, D.A. Raber Wohlmuth, R.A. Loss, A. Dettmer, N.S.P.D.S. Richards. 2023. Whey-based polymeric films for food packaging applications: a review of recent trends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 103(7): 3217-3229. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12310>.
- Salgado, M.J.G., I.L.D.S. Rosario, A.C. De Oliveira Almeida, B.S.D.S. Rekowski, U.M. Paim, D.M. Otero, M.E. De Oliveira Mamede, M.P. Da Costa. 2023. Buffalo Whey-Based Cocoa Beverages with Unconventional Plant-Based Flours: The Effect of Information and Taste on Consumer Perception. *Beverages*. 9(4): 90. <https://doi.org/10.3390/beverages9040090>.
- Sarıtaş, S., H. Duman, B. Pekdemir, J.M. Rocha, F. Oz, S. Karav. 2024. Functional chocolate: exploring advances in production and health benefits. *International Journal of Food Science and Technology*. 59(8): 5303-5325. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17312>.
- Skryplonek, K., I. Dmytrów, A. Mituniewicz-Matek. 2019. Probiotic fermented beverages based on acid whey. *Journal of Dairy Science*. 102(9): 7773-7780. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16385>.
- Soumati, B., M. Atmani, A. Benabderrahmane, M. Benjelloun. 2023. Whey Valorization – Innovative Strategies for Sustainable Development and Value-Added Product Creation. *Journal of Ecological Engineering*. 24(10): 86-104. <https://doi.org/10.12911/22998993/169505>.
- Stadnyk, I., V. Piddubnyi, H. Karpyk, L. Beiko, K. Kravcheniuk. 2022. Effect of concentration of coconut oil with demineralised whey powder on the properties of bean pastes. *Animal Science and Food Technology*. 13(3). [https://doi.org/10.31548/animal.13\(3\).2022.43-52](https://doi.org/10.31548/animal.13(3).2022.43-52).
- Stadnyk, I., V. Piddubnyi, M. Kravchenko, L. Rybchuk, S. Balaban, T. Veselovska. 2021. The effect of dry demineralized whey (DDW) and coconut oil on the rheological characteristics of the legume butter. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 15: 318-329. <https://doi.org/10.5219/1578>.
- Stožinić, M., D. Zarić, M. Rakin, I. Lončarević, B. Pajin, M. Bulatović. 2024. Impact of whey bioactive hydrolysates on the quality of fat fillings for confectionery products. *Food and Feed Research*. 51(2): 189-198. <https://doi.org/10.5937/ffr0-53501>.
- Sudibyho, H., K. Wang, J.W. Tester. 2021. Hydrothermal Liquefaction of Acid Whey: Effect of Feedstock Properties and Process Conditions on Energy and Nutrient Recovery. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 9(34): 11403-11415. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c03358>.

- Sventzouri, E., K. Pispas, G.G. Kournoutou, M. Geroulia, E. Giakoumatou, S.S. Ali, M. Kornaros. 2025. Evaluation of Growth Performance, Biochemical Composition, and Polyhydroxyalkanoates Production of Four Cyanobacterial Species Grown in Cheese Whey. *Microorganisms*. 13(5): 1157. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13051157>.
- Tamošaitis, A., A. Jaruševičienė, M. Strykaitė, J. Damašius. 2022. Analysis of antimicrobial whey protein-based biocomposites with lactic acid, tea tree (*Melaleuca alternifolia*) and garlic (*Allium sativum*) essential oils for Edam cheese coating. *International Journal of Dairy Technology*. 75(3): 611-618. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12858>.
- Téllez-Morales, J.A., C.A. Gómez-Aldapa, E. Herman-Lara, R. Carmona-García, J. Rodríguez-Miranda. 2021. Effect of the concentrations of corn starch and whey protein isolate on the processing parameters and the physicochemical characteristics of the extrudates. *Journal of Food Processing and Preservation*. 45(5). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15395>.
- Trejo-Flores, P.G., L.A. Santiago-Rodríguez, M.E. Domínguez-Espinosa, A. Cruz-Salomón, P.E. Velázquez-Jiménez, J.M.E. Hernández-Méndez, M.A. Morales-Ovando, K.D.C. Cruz-Salomón, M.D.C. Hernández-Cruz, P.T. Vázquez-Villegas, R.I. Cruz-Rodríguez, R.D.P. Serrano-Ramírez, Y. Sánchez-Roque, H. Vilchis-Bravo. 2023. Sustainable Ice Cream Base: Harnessing Mango Seed Kernel (Mangifera indica L. var. Tommy Atkins) Waste and Cheese Whey. *Sustainability*. 15(19): 14583. <https://doi.org/10.3390/su151914583>.
- Trindade, M.B., B.C.V. Soares, H. Scudino, J.T. Guimarães, E.A. Esmerino, M.Q. Freitas, T.C. Pimentel, M.C. Silva, S.L.Q. Souza, R.B. Almada, A.G. Cruz. 2019. Cheese whey exploitation in Brazil: a questionnaire survey. *Food Science and Technology*. 39(3): 788-791. <https://doi.org/10.1590/fst.07419>.
- Ünal, M.H., D. Arslan. 2022. Single and combined use of isomalt, polydextrose, and inulin as sugar substitutes in production of pectin jelly. *Journal of Food Processing and Preservation*. 46(12): e17174. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17174>.
- Vecchio, R., E.J. Van Loo, A. Annunziata. 2016. Consumers' willingness to pay for conventional, organic and functional yogurt: evidence from experimental auctions. *International Journal of Consumer Studies*. 40(3): 368-378. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12264>.
- Verneau, F., F. La Barbera, M. Furno. 2019. The Role of Health Information in Consumers' Willingness to Pay for Canned Crushed Tomatoes Enriched with Lycopene. *Nutrients*. 11(9): 2173. <https://doi.org/10.3390/nu11092173>.
- Vieira, A.H., C.F. Balthazar, R.S. Rocha, R. Silva, J.T. Guimaraes, M.M. Pagani, T.C. Pimentel, E.A. Esmerino, M.C. Silva, R.V. Tonon, L.M. Cabral, M.Q. Freitas, A.G. Cruz. 2020. The free listing task for describing the sensory profiling of dairy foods: A case study with microfiltered goat whey orange juice beverage. *Journal of Sensory Studies*. 35(5): e12594. <https://doi.org/10.1111/joss.12594>.
- Vojvodić Cebin, A., M. Bunić, A. Mandura Jarić, D. Šeremet, D. Komes. 2024. Physicochemical and Sensory Stability Evaluation of Gummy Candies Fortified with Mountain Germander Extract and Prebiotics. *Polymers*. 16(2): 259. <https://doi.org/10.3390/polym16020259>.
- Wróbel, K., A.J. Milewska, M. Marczak, R. Kozłowski. 2021. The Impact of the COVID-19 Pandemic on the Composition of Dietary Supplements and Functional Foods Notified in Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18(22): 11751. <https://doi.org/10.3390/ijerph182211751>.
- Yadav, J.S.S., S. Yan, S. Pilli, L. Kumar, R.D. Tyagi, R.Y. Surampalli. 2015. Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*. 33(6): 756-774. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.002>.
- Zandona, E., M. Blažič, A. Režek Jambrak. 2021. Whey Utilisation: Sustainable Uses and Environmental Approach. *Food Technology and Biotechnology*. 59(2): 147-161. <https://doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.6968>.
- Zanon, E.O., T.C. Pimentel, R.J.H.C. Gomez, R. Fagnani. 2020. Development of a whey protein spread enriched with β -glucan: an alternative for whey valorization. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100(4): 1711-1717. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10186>.
- Zaytseva, L., N. Ruban, T. Tsyganova, E. Mazukabzova. 2022. Fortified Confectionery Creams on Vegetable Oils with a Modified Carbohydrate Profile. *Food Processing: Techniques and Technology*. : 500-510. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2377>.
- Zotta, T., L. Solieri, L. Iacumin, C. Picozzi, M. Gullo. 2020. Valorization of cheese whey using microbial fermentations. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 104(7): 2749-2764. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10408-2>.