

Leche funcional: revisión de formulación, bioactividad y aceptación sensorial

Functional milk: A review of formulation, bioactivity, and sensory acceptance

America D. Rosales-Arellano^a, Jesús G. Pérez-Flores^{a,b}, Laura García-Curiel^{b,c*}, Alma E. Cruz-Guerrero^c, Elizabeth Contreras-López^a, Luis G. González-Olivares^a

Abstract:

Functional dairy products have been widely investigated for their potential to improve health and nutrition by incorporating bioactive compounds and probiotics. This review examines the formulation and evaluation of functional cheeses, yogurts, and whey-based beverages, exploring how their composition and technological processing influence nutritional value, bioactivity, and consumer acceptance. Strategies such as adding prebiotics, probiotics, plant extracts, and bioactive peptides generated through fermentation or enzymatic hydrolysis are described. These interventions modify physicochemical properties, enhance antioxidant capacity, and support microbial viability. Including polyunsaturated fatty acids, phenolic compounds, and peptides improves the functional profile of dairy matrices. Notably, whey beverages enriched with fruit extracts or subjected to fermentation showed promising levels of stability and acceptability. The findings suggest that optimizing the functionality of dairy products is feasible without compromising sensory quality. Further clinical studies and the development of formulations tailored to specific population needs are recommended to advance the field and support health-oriented innovation in dairy-based functional foods.

Keywords:

Microencapsulation, bioaccessibility, fortification, fermentation, nutriomics.

Resumen:

Los productos lácteos funcionales han sido ampliamente investigados por su potencial para mejorar la salud y la nutrición mediante la incorporación de compuestos bioactivos y probióticos. Esta revisión analiza la formulación y evaluación de quesos, yogures y bebidas de suero funcionales, explorando cómo su composición y procesamiento tecnológico inciden en el valor nutricional, la bioactividad y la aceptación del consumidor. Se describen estrategias como la adición de prebióticos, probióticos, extractos vegetales y péptidos bioactivos generados por fermentación o hidrólisis. Estas intervenciones modifican propiedades fisicoquímicas, mejoran la capacidad antioxidante y favorecen la viabilidad microbiana. La inclusión de ácidos grasos poliinsaturados, compuestos fenólicos y péptidos mejora el perfil funcional de las matrices lácteas. En particular, las bebidas de suero enriquecidas con extractos de frutas o fermentadas mostraron buenos niveles de estabilidad y aceptabilidad. Se concluye que es viable optimizar productos lácteos sin comprometer su calidad sensorial. Se recomienda continuar con estudios clínicos y el desarrollo de formulaciones dirigidas a necesidades poblacionales específicas.

Palabras Clave:

Microencapsulación, bioaccesibilidad, fortificación, fermentación, nutriómica.

^a Área 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, A. D. Rosales-Arellano, america3434rosales@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-5374-2819>, E. Contreras-López, elizac@uaeh.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-9678-1264>, L. G. González-Olivares, lgonzales@uaeh.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-4707-8935>

^b Área 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, J. G. Pérez-Flores, jesus_perez@uaeh.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-9654-3469>.

^c Departamento de Biotecnología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, 09340 Iztapalapa, Ciudad de México, México, A. E. Cruz-Guerrero, acc@xanum.uam.mx, <https://orcid.org/0000-0002-9686-2267>

*Autora de correspondencia: L. García-Curiel, laura.garcia@uaeh.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0001-8961-2852>.

Fecha de recepción: 01/07/2025, Fecha de aceptación: 01/08/2025, Fecha de publicación: 05/09/2025

1. Introducción

El interés por alimentos con propiedades que trascienden la nutrición básica ha impulsado la investigación y el desarrollo de alimentos funcionales. Estos se definen como alimentos que contienen compuestos bioactivos incorporados de forma natural o mediante tecnologías específicas, que al ser integrados a la dieta traen consigo efectos benéficos para la salud [1,2]. La incorporación de probióticos, prebióticos, ácidos grasos poliinsaturados, polifenoles y fibra dietaria ha permitido ampliar la oferta de productos dirigidos a una alimentación más saludable, incluyendo fórmulas fortificadas, modificadas y enriquecidas [3,4].

Entre las alternativas evaluadas, los productos lácteos han mostrado ventajas como matrices para la incorporación de compuestos funcionales debido a su microestructura, capacidad de emulsión y perfil nutricional. Las características fisicoquímicas de la leche, influenciadas por la organización de las micelas de caseína y su comportamiento térmico, condicionan la estabilidad y funcionalidad de los ingredientes añadidos, lo cual exige una caracterización detallada durante el desarrollo del producto [5]. La fermentación, en particular, facilita la generación de metabolitos bioactivos como el ácido linoleico conjugado (CLA) y diversos péptidos con propiedades antioxidantes, inmunomoduladoras y antiinflamatorias, además de mejorar la biodisponibilidad de nutrientes y contribuir al perfil sensorial mediante la producción de ácido láctico y compuestos volátiles [6–11].

Se ha documentado que productos fermentados como yogures y kéfir pueden mejorar la salud intestinal, regular el apetito y modular biomarcadores cardiometabólicos, reforzando su potencial como vehículos funcionales [12–14]. Sin embargo, su desarrollo enfrenta retos como las exigencias regulatorias en torno a la viabilidad probiótica, que exigen concentraciones entre 10^6 y 10^9 UFC/g para demostrar efectos, y la percepción negativa hacia ciertos productos lácteos debido a su contenido en lactosa, grasas o sal [15–17]. Esto ha incentivado el diseño de productos funcionales con base vegetal que respondan a restricciones o preferencias dietéticas, ampliando las posibilidades del sector alimentario [18–20].

Sin embargo, la exploración de matrices lácteas como vehículos funcionales continúa siendo un campo activo, con énfasis en adaptar sus formulaciones a necesidades específicas de salud mediante el respaldo de estudios clínicos y estrategias de innovación orientadas a mejorar la aceptabilidad y estabilidad de los productos [21,22]. Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo fue examinar el papel de la leche o los derivados lácteos como matriz en el diseño y desarrollo de alimentos funcionales, explorando su potencial para mejorar la salud y el bienestar a través de la incorporación de ingredientes bioactivos y tecnologías de procesamiento.

2. Alimentos funcionales

Se definen como funcionales a aquellos alimentos o bebidas que, ya sea de manera natural o por añadirlos industrialmente, contienen compuestos bioactivos que, dentro de la dieta, aportan beneficios adicionales a la salud más allá de la nutrición básica; además, ayudan en la prevención de enfermedades como diabetes, cáncer o enfermedades cardiovasculares [23]. El desarrollo de alimentos con beneficios para la salud está ganando relevancia; por ejemplo, se ha estudiado el consumo de fitoesteroles como un procedimiento alternativo para la prevención de enfermedades cardiovasculares. De manera similar, otros compuestos bioactivos como la fibra dietaria, antioxidantes, ácidos grasos poliinsaturados, probióticos y prebióticos, han sido reconocidos por sus beneficios en la salud humana y propuestos como ingredientes funcionales [24]. Además de su impacto en la salud, los alimentos funcionales también se han planteado como una estrategia para enfrentar problemáticas como el desperdicio de alimentos. En particular, los subproductos agroalimentarios, como cáscaras, bagazos, semillas o pulpas residuales de frutas y hortalizas, han mostrado un alto potencial como ingredientes funcionales, debido a su riqueza en compuestos bioactivos como polifenoles, carotenoides, fibra dietaria, vitaminas y minerales. No obstante, muchos de estos compuestos presentan inestabilidad ante factores ambientales o durante el procesamiento industrial. Por ello, la industria de alimentos funcionales ha colaborado con otras disciplinas para desarrollar estrategias

tecnológicas que permitan proteger y estabilizar estos compuestos bioactivos. Entre las técnicas utilizadas se encuentran la microencapsulación, el secado por aspersión, la incorporación en matrices poliméricas o emulsiones y la fermentación controlada, las cuales favorecen la conservación de la actividad funcional durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos [25].

Para la formulación de alimentos funcionales se deben considerar múltiples factores, como el tipo de función que se espera abordar, considerando esto, se selecciona la matriz más pertinente y el ingrediente bioactivo más compatible. Este procedimiento debe respetar las regulaciones disponibles en cada país, aunque es importante resaltar que las regulaciones y especificaciones para los alimentos funcionales suelen ser limitadas o poco definidas. Es necesaria la colaboración de legisladores, químicos de alimentos, nutricionistas y expertos en salud para establecer lineamientos más claros para alimentos funcionales, de tal manera que el productor y el consumidor resulten beneficiados [26].

3. Leche

La leche es una emulsión compleja de origen animal, compuesta por glóbulos de grasa suspendidos en una fase acuosa que contiene proteínas, lactosa, minerales y otros componentes en menor proporción, como vitaminas, enzimas y lecitinas [27,28]. Su composición dependerá de la especie, la alimentación y el estado fisiológico del animal. Aporta proteínas de alto valor biológico, principalmente caseínas, con un perfil completo de aminoácidos esenciales, así como minerales como calcio y fósforo, y vitaminas del grupo B. Su perfil nutricional puede modificarse por la dieta, la estación

o el tipo de manejo, influyendo en la concentración de lípidos, proteínas y micronutrientes. Diferencias en el tipo de forraje, la presencia de polimorfismos genéticos y las etapas de lactación alteran tanto la proporción como la biodisponibilidad de estos componentes, lo que repercute en sus propiedades funcionales y tecnológicas [29–33]. La Tabla 1 muestra la composición promedio de distintas variedades de leche comercial por porción de 237 mL, donde se observan variaciones en el contenido de macronutrientes y micronutrientes según el grado de descremado, con una tendencia a concentraciones más altas de calcio, fósforo y potasio en las versiones reducidas en grasa, lo cual puede influir en su aprovechamiento nutricional y su aplicación como matriz funcional [34].

En su forma natural, la leche constituye un alimento completo; sin embargo, su funcionalidad como matriz en el desarrollo de alimentos funcionales se relaciona con su capacidad de emulsión, su microestructura proteica y su compatibilidad con ingredientes bioactivos. La organización de las micelas de caseína, por ejemplo, facilita la incorporación y estabilización de compuestos funcionales, mientras que su comportamiento frente a tratamientos térmicos puede modificar su estructura y alterar la biodisponibilidad de nutrientes [28,35].

La composición puede modificarse mediante procesos tecnológicos como la pasteurización, homogeneización, ultrafiltración o fortificación, lo que permite adaptar el producto a requerimientos específicos o mejorar su estabilidad microbiológica y funcional [34]. Estas características hacen de la leche una base versátil en el diseño de productos funcionales dirigidos a distintas poblaciones.

Tabla 1. Composición de la leche de vaca por porción de 237 mL [34].

Componente	Leche entera	Leche reducida en grasa (2 %)	Leche baja en grasa (1 %)	Leche descremada
Calorías (g)	149	122	102	83
Carbohidratos (g)	11.7	11.7	12.2	12.1
Azúcares (g)	12.3	12.3	12.7	12.4
Proteínas (g)	7.69	8.05	8.22	8.22
Grasa (g)	7.93	4.83	2.37	0.195
Sodio (mg)	105	115	107	102
Potasio (mg)	332	342	366	381

Componente	Leche entera	Leche reducida en grasa (2 %)	Leche baja en grasa (1 %)	Leche descremada
Calcio (mg)	276	293	305	298
Fósforo (mg)	205	224	232	246
Hierro (mg)	0.073	0.049	0.073	0.073
Folato (µg)	12.2	12.2	12.2	12.2
Vitamina A (µg)	112	134	149	149
Vitamina B12 (µg)	1.1	1.29	12.2	1.22
Vitamina D (µg)	3.17	2.93	2.93	2.93
Vitamina E (µg)	0.171	0.024	0.024	0.024

3.1. Derivados lácteos

Los derivados lácteos comprenden una amplia gama de productos elaborados a partir de leche, incluyendo aquellos con separación de grasa como la nata y la mantequilla, así como los obtenidos por fermentación o acidificación, entre los que destacan el yogur, kéfir, kumis, crema, queso crema y queso cottage; algunos de ellos se ilustran en la Figura 1 [36]. Su aporte nutricional incluye proteínas de alta calidad, calcio, vitaminas liposolubles y otros micronutrientes con efectos sobre la salud ósea, cardiovascular y metabólica [37,38]. En particular, los fermentados lácteos han ganado relevancia tanto

por sus características sensoriales como por su funcionalidad. La acción de bacterias ácido-lácticas (BAL) durante la fermentación puede reducir el contenido de lactosa y galactosa, lo que amplía su uso en formulaciones dirigidas a personas con intolerancia [39]. Además, subproductos como el suero lácteo concentran péptidos y proteínas bioactivas con efectos antiinflamatorios, antihipertensivos, inmunomoduladores y de regulación del apetito, lo que ha motivado su aprovechamiento como ingrediente funcional en nuevas aplicaciones alimentarias [40].

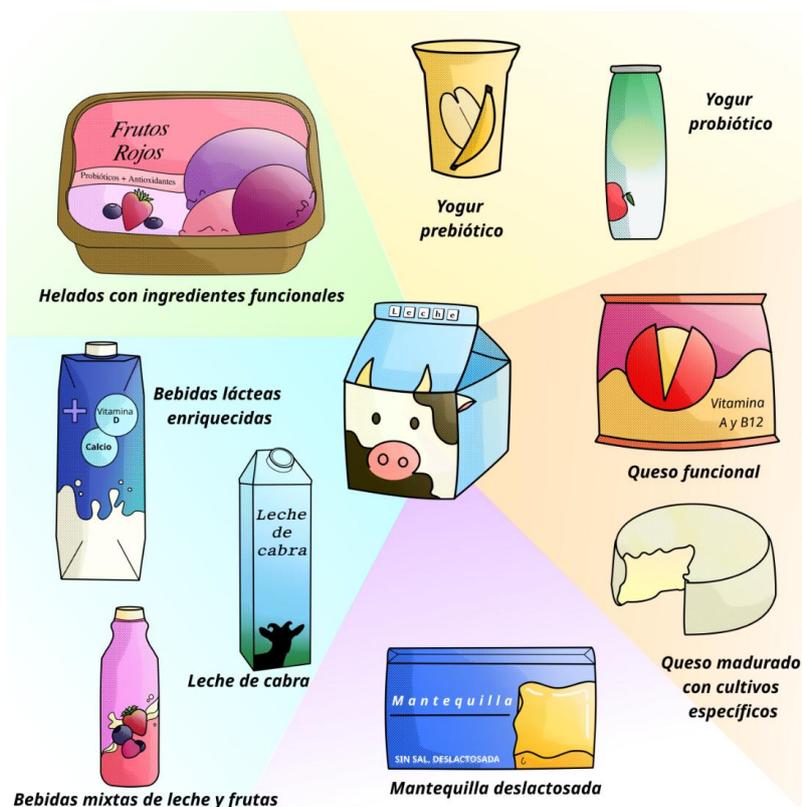


Figura 1. Ejemplos de derivados lácteos (elaboración propia).

4. Compuestos añadidos a productos lácteos

A los productos lácteos se les incorporan compuestos bioactivos con el fin de desarrollar derivados funcionales que potencien sus beneficios para la salud del consumidor [28]. Esta estrategia permite ampliar el perfil nutracéutico de la matriz láctea mediante la inclusión controlada de microorganismos, fibras, lípidos, péptidos y micronutrientes con actividad biológica comprobada. La funcionalidad lograda depende de la compatibilidad entre el compuesto y el sistema alimentario, así como de su estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento [25], lo que condiciona su eficacia fisiológica tras el consumo, como se desarrollará en las siguientes subsecciones.

4.1. Probióticos

Los probióticos incorporados en productos lácteos fermentados han sido ampliamente estudiados por sus efectos sobre la microbiota intestinal, la respuesta inmunitaria y el metabolismo. Diversas cepas, como *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* y *Saccharomyces boulardii*, han demostrado capacidad para adherirse al epitelio intestinal, lo que facilita su colonización y la modulación positiva del ecosistema microbiano, favoreciendo el crecimiento de microorganismos benéficos y limitando el desarrollo de patógenos mediante competencia por nutrientes y espacio [41–43]. Esta interacción también favorece la integridad de la barrera intestinal y activa componentes del sistema inmunológico como las células T y la producción de IgA [44–46]

Los probióticos pueden además estimular la secreción de compuestos antimicrobianos como bacteriocinas, que refuerzan su efecto protector [47]. Diversas cepas empleadas en la formulación de alimentos funcionales presentan propiedades específicas, como la formación de biopelículas, efectos antiinflamatorios, regulación inmunológica o modulación de la microbiota, lo cual ha sido documentado en distintos géneros bacterianos y levaduras, como se sintetiza en la Tabla 2.

Los probióticos pueden además estimular la secreción de compuestos antimicrobianos como bacteriocinas, que refuerzan su efecto protector [47]. Diversas cepas empleadas en la formulación de alimentos funcionales presentan propiedades específicas, como la formación de biopelículas, efectos antiinflamatorios, regulación inmunológica o modulación de la microbiota, lo cual ha sido documentado en distintos géneros bacterianos y levaduras, como se sintetiza en la Tabla 2.

La fermentación de productos lácteos ofrece un medio favorable para la viabilidad de los probióticos, lo que mejora su supervivencia en condiciones gastrointestinales adversas y permite su llegada activa al intestino [48,49]. Además, esta actividad fermentativa favorece la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como butirato, propionato y acetato, con efectos benéficos sobre la homeostasis mucosa, la modulación de citoquinas antiinflamatorias y la inhibición de enzimas como histona deacetilasas, mecanismos relacionados con la mejora de enfermedades metabólicas e intestinales [6,50,51].

Estudios recientes han documentado que la inclusión regular de productos lácteos fermentados puede modificar la composición de la microbiota en humanos, aumentar la diversidad bacteriana y mejorar marcadores inmunológicos, metabólicos e inflamatorios en modelos animales y clínicos, con aplicaciones en patologías como la esteatosis hepática no alcohólica o infecciones intestinales [52–56]. Estas evidencias reafirman el potencial de los productos lácteos como vehículos funcionales eficaces para la administración de probióticos.

La fermentación de productos lácteos ofrece un medio favorable para la viabilidad de los probióticos, lo que mejora su supervivencia en condiciones gastrointestinales adversas y permite su llegada activa al intestino [48,49]. Además, esta actividad fermentativa favorece la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como butirato, propionato y acetato, con efectos benéficos sobre la homeostasis mucosa, la modulación de citoquinas antiinflamatorias y la inhibición de enzimas como histona deacetilasas, mecanismos relacionados con

la mejora de enfermedades metabólicas e intestinales [6,50,51].

Estudios recientes han documentado que la inclusión regular de productos lácteos fermentados puede modificar la composición de la microbiota en humanos, aumentar la diversidad bacteriana y mejorar marcadores inmunológicos, metabólicos e

inflamatorios en modelos animales y clínicos, con aplicaciones en patologías como la esteatosis hepática no alcohólica o infecciones intestinales [52–56]. Estas evidencias reafirman el potencial de los productos lácteos como vehículos funcionales eficaces para la administración de probióticos.

Tabla 2. Beneficios de cepas con potencial probiótico para la formulación de alimentos funcionales.

Cepas evaluadas	Propiedades probióticas	Referencias
<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus salivarius</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> y <i>Lactobacillus delbrueckii subsp</i>	Capacidad para formar biopelículas. Producción de bacteriocinas con potencial antimicrobiano.	[57,58]
<i>Bifidobacterium adolescentis</i> y <i>Bifidobacterium animalis</i>	Propiedades antiinflamatorias y regulación hormonal.	[59]
<i>Bifidobacterium breve</i> y <i>Bifidobacterium longum</i>	Prevención de complicaciones prematuras en neonatos como dermatitis atópica y enterocolitis necrotizante.	[60,61]
<i>Bacillus coagulans</i>	Promueve la salud gastrointestinal y de la microbiota intestinal.	[62]
<i>Escherichia coli</i> Nissle 1917 (EcN)	Regulación de la respuesta inmune. Estimula la producción de β -defensina humana 2, que protege la barrera mucosa	[63,64]
<i>Propionibacterium freudenreichii</i>	Producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Modulación de la respuesta inmune. Reducción de la inflamación intestinal.	[65,66]
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>boulardii</i>	Mejora la composición de la microbiota intestinal: reduce <i>Firmicutes</i> y <i>Proteobacteria</i> , y aumenta <i>Bacteroidetes</i> . Buena producción de AGCC y reducción de la inflamación.	[63,67]

4.2. Prebióticos

Los prebióticos son compuestos no digeribles, principalmente oligosacáridos, que alcanzan el colon y son utilizados como sustrato por ciertas bacterias beneficiosas, especialmente bifidobacterias y lactobacilos. Su fermentación da lugar a la producción de metabolitos y micronutrientes que favorecen el equilibrio de la microbiota y generan efectos fisiológicos positivos en el hospedero [68]. Entre los más estudiados se encuentran la inulina y los fructooligosacáridos (FOS), cuyo uso en productos lácteos fermentados como yogures y leches funcionales ha demostrado mejorar la composición microbiana intestinal y facilitar la absorción de minerales [69,70]. Además, los FOS actúan como sustrato directo de las bacterias probióticas presentes en la matriz, fortaleciendo su viabilidad y funcionalidad en el producto final [71]. La combinación de prebióticos y probióticos en

alimentos simbióticos ha sido una estrategia recurrente para potenciar los efectos sobre la salud digestiva y metabólica [72]. Paralelamente, la incorporación de prebióticos ha modificado características tecnológicas y sensoriales de los alimentos, mejorando aspectos como la textura y la estabilidad, aunque estos efectos dependen de la naturaleza del prebiótico, la concentración utilizada y la matriz alimentaria [73].

4.3. Antioxidantes

Los antioxidantes dietéticos son compuestos presentes en alimentos de consumo habitual que interfieren con la acción de especies reactivas de oxígeno (ERO) y de nitrógeno (ERN), tales como el radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el radical hidroxilo ($\cdot OH$) y el peroxinitrito ($ONOO^-$). Su actividad ayuda a prevenir el daño oxidativo sobre lípidos, proteínas y ADN, lo cual

contribuye a mantener la integridad de procesos como la señalización celular, la respuesta inmune y el metabolismo energético [74]. En la industria alimentaria se emplean para desacelerar procesos oxidativos, como la rancidez de lípidos, mediante la incorporación de principios activos con propiedades redox. Entre ellos destacan polifenoles, como flavonoides y taninos, y fitoestrógenos, incluyendo isoflavonas y lignanos [74]. La incorporación de antioxidantes naturales en productos lácteos ha sido objeto de interés debido a sus efectos positivos en la estabilidad fisicoquímica, la calidad sensorial y la bioactividad del alimento [75]. Sustancias como ácidos fenólicos, antocianinas, carotenoides, flavonoides, vitaminas A, C y E, así como ciertos minerales, han mostrado potencial para contribuir a la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles [76]. Además, su uso puede retardar la oxidación de componentes lácteos como la crema, prolongando su vida útil y preservando atributos nutricionales y tecnológicos [77].

4.4. Fibra dietaria

La fibra dietaria comprende estructuras de origen vegetal resistentes a la digestión enzimática humana, entre las que se encuentran celulosa, ligninas y pentosas, asociadas con un menor riesgo de enfermedades como diverticulosis, apendicitis y cáncer colorrectal [78]. Su estudio ha sido amplio debido a su impacto funcional y nutracéutico. Según su solubilidad en agua, se clasifica en soluble e insoluble; también puede organizarse por su origen (cereal, fruta, vegetal) o por su composición química (celulosa, pectina, gomas) [79].

Desde el enfoque tecnológico, su incorporación en matrices lácteas ha permitido modificar características como la retención de agua, la reducción del contenido lipídico, la mejora de la textura y la disminución de la densidad calórica. En productos fermentados como el yogur, estas propiedades contribuyen tanto a la calidad estructural como a la estabilidad del producto final [80]. Además, la inclusión de fibra en la dieta ha mostrado efectos positivos en la prevención de enfermedades crónicas, particularmente cardiovasculares y del tracto gastrointestinal inferior, lo que ha incentivado su uso en alimentos funcionales a base de leche [79].

4.5. Fitoesteroles

Los fitoesteroles y sus formas reducidas, los fitoestanoles, son compuestos vegetales estructuralmente similares al colesterol. Su adición a productos lácteos, en particular a leches fermentadas, ha sido objeto de investigaciones recientes centradas en mejorar su estabilidad, biodisponibilidad y funcionalidad fisiológica [81,82].

La formulación de fitoesteroles en dispersiones submicrométricas ha permitido mejorar su solubilidad en matrices lácteas, lo cual favorece su absorción intestinal y su eficacia metabólica. Esta forma de presentación ha demostrado reducir la esteatosis hepática en modelos murinos y podría incidir favorablemente en parámetros bioquímicos humanos [82]. La mayor biodisponibilidad derivada de estas formulaciones se asocia con concentraciones séricas más elevadas tras su consumo, lo que amplía su potencial terapéutico en contextos de control lipídico [81].

En el ámbito clínico, se ha documentado consistentemente que una ingesta diaria de 2 g de fitoesteroles puede reducir entre 8 % y 14 % los niveles de colesterol LDL [83]. Ensayos aleatorizados han confirmado estos efectos, particularmente en individuos con riesgo cardiovascular. En este sentido, la combinación de alimentos enriquecidos con fitoesteroles dentro de patrones dietéticos como la dieta mediterránea potencia su efecto hipocolesterolemico [84].

La evidencia reciente también ha vinculado el consumo de fitoesteroles en leche fermentada con una disminución de marcadores inflamatorios, lo que sugiere un efecto antiinflamatorio que complementa su acción sobre los lípidos séricos [85]. Este efecto dual refuerza su utilidad en el desarrollo de alimentos funcionales orientados a la salud cardiovascular.

Además del perfil lipídico, algunos estudios han explorado beneficios sobre otros factores de riesgo metabólico, como la hipertensión arterial o la enfermedad hepática grasa no alcohólica. Aunque los resultados en estos casos son menos consistentes, se ha observado una tendencia hacia mejoras en marcadores de función hepática y presión arterial en personas que consumen productos enriquecidos con fitoesteroles [86–88].

4.6. Ácidos grasos esenciales

Los ácidos grasos esenciales son compuestos carboxílicos con cadenas alifáticas que el organismo no puede sintetizar, por lo que deben obtenerse a través de la dieta. Se agrupan en las familias omega-3 y omega-6, ambas clasificadas como ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) por la presencia de dobles enlaces. Estos lípidos se han relacionado con efectos antioxidantes, regulación inmunológica e inflamatoria, control del colesterol y disminución del riesgo de enfermedades coronarias [89].

La leche y sus derivados contienen cantidades reducidas de PUFAs, especialmente de omega-3, lo que ha impulsado el diseño de estrategias para enriquecer su perfil lipídico. Una de las principales limitaciones es la biohidrogenación ruminal, proceso mediante el cual los microorganismos del rumen convierten los PUFAs en formas saturadas, disminuyendo su transferencia a la leche. Para reducir este efecto, se ha recurrido a la suplementación con aceites vegetales, semillas oleaginosas y fuentes marinas protegidas, lo que permite incrementar los niveles de ácidos como ácido α -linolénico (ALA), el ácido eicosapentaenoico (EPA), el ácido docosahexaenoico (DHA) y el ácido docosapentaenoico (DPA) en productos lácteos [90]. Además de las modificaciones en la dieta animal, se han implementado innovaciones tecnológicas como la microencapsulación de aceites ricos en omega-3, lo que mejora la estabilidad de estos lípidos frente a la degradación ruminal y favorece su transferencia a la grasa láctea [91,92]. Estas intervenciones permiten obtener leche enriquecida con omega-3, cuyo consumo se ha vinculado con mejoras en marcadores inflamatorios y perfil lipídico en humanos, así como con una menor incidencia de enfermedades metabólicas y cardiovasculares [93–95].

4.7. Vitaminas y minerales

Las vitaminas son compuestos orgánicos indispensables para la regulación de los procesos metabólicos, en su mayoría no sintetizables por el organismo. Actúan como coenzimas o precursores en reacciones bioquímicas, siendo necesarias en pequeñas cantidades. Los minerales, por su parte, aportan nutrientes esenciales en formas químicamente biodisponibles. La solubilidad y absorción de estos compuestos varían según su

naturaleza, siendo diferentes en complejos, quelatos y sales inorgánicas. Entre los minerales más relevantes en nutrición se encuentran calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio y cloruro [96].

La fortificación de productos lácteos con vitamina D y calcio ha sido una estrategia nutricional orientada a mejorar la salud ósea, especialmente en adultos mayores, en quienes la síntesis cutánea de vitamina D disminuye con la edad. Esta vitamina favorece la absorción intestinal de calcio y su incorporación en tejido óseo, lo que contribuye a mantener la densidad mineral y reducir el riesgo de fracturas [97]. La formulación de lácteos enriquecidos ha demostrado ventajas en términos de biodisponibilidad, atribuibles a la matriz grasa y a la presencia de ácidos grasos monoinsaturados, que mejoran la absorción posprandial de vitamina D [98,99].

El calcio presente en productos lácteos se absorbe con mayor eficiencia que el de muchas fuentes vegetales, y su combinación con vitamina D potencia sus efectos sobre la salud ósea. Esta sinergia ha sido asociada con mejoras en la densidad mineral ósea y reducción en la incidencia de fracturas [100,101]. La incorporación regular de lácteos fortificados a la dieta ha mostrado beneficios clínicos en la prevención de enfermedades óseas degenerativas, mediante la mejora del estado nutricional y el mantenimiento de la función ósea en población envejecida [97,100].

4.8. Péptidos bioactivos

Los péptidos bioactivos derivados de proteínas lácteas son secuencias cortas de aminoácidos que permanecen inactivas en la proteína nativa y se liberan mediante hidrólisis enzimática o fermentación. Su tamaño varía entre 2 y 50 residuos, abarcando desde oligopéptidos hasta polipéptidos. Diversos estudios han asociado estos compuestos con efectos antihipertensivos, antioxidantes, antimicrobianos, inmunomoduladores y de unión a minerales [102–104].

La hidrólisis enzimática permite obtener estos péptidos a partir de proteínas del suero o de la caseína, dependiendo del tipo de enzima utilizada y de las condiciones de reacción. Por otra parte, la fermentación con cultivos seleccionados modifica el perfil peptídico, incrementando la actividad biológica en función del microorganismo y del tiempo de fermentación [105,106]. Estos procesos permiten

generar péptidos con capacidad de inhibir enzimas como la enzima convertidora de angiotensina I (ECA) o la dipeptidil peptidasa-IV (DPP-IV), asociadas con regulación de la presión arterial y control glucémico [107].

El desarrollo de productos lácteos fermentados enriquecidos con estos péptidos ha sido impulsado por su potencial nutracéutico. Estudios recientes han documentado la bioactividad de hidrolizados derivados de leche de vaca, oveja y camello, lo que sugiere un amplio espectro de fuentes disponibles [103,104]. Además, enfoques computacionales han comenzado a emplearse para predecir secuencias con efectos terapéuticos específicos, lo que favorece su incorporación dirigida en alimentos funcionales [107].

Entre los mecanismos moleculares descritos para estos péptidos, destaca la inhibición competitiva de

enzimas como la ECA, la cual regula la presión arterial mediante la conversión de angiotensina I en angiotensina II, un potente vasoconstrictor. Al bloquear esta enzima, los péptidos bioactivos promueven la vasodilatación y la disminución de la presión arterial [104,107]. Asimismo, algunos péptidos lácteos inhiben la DPP-IV, evitando la degradación de incretinas como el GLP-1 y el GIP, lo que contribuye al aumento de la secreción de insulina y al control glucémico [104]. Estas acciones se han vinculado con residuos de aminoácidos específicos como prolina, leucina o triptófano en posiciones clave de la secuencia peptídica [105], lo cual ha motivado el diseño de péptidos funcionales mediante herramientas bioinformáticas.

Tabla 3. Mecanismos moleculares de acción de péptidos bioactivos derivados de proteínas lácteas.

Péptido o fuente	Mecanismo bioquímico propuesto	Evidencia experimental	Referencia
Péptidos del suero lácteo (β -LG, α -LA)	Inhibición de DPP-IV, mejora de la señalización de incretinas (GLP-1, GIP)	Se impide degradación de incretinas \rightarrow incremento de secreción de insulina	[107]
Péptidos de leche fermentada con <i>L. helveticus</i>	Regulación de citoquinas (IL-6, IL-10), aumento de IgG, activación de vías TLR4/p-JNK/NF- κ B	Modelo murino con LPS: mejor respuesta inmunitaria y menor inflamación	[106]
β -caseína hidrolizada	Estimulación de proliferación de linfocitos humanos a concentraciones elevadas	<i>In vitro</i> , efectos dependientes de la concentración	[106]
Péptidos de colágeno cofermentado	Activación de vías proinflamatorias y respuesta inmune adaptativa	Aumento de expresión génica de TLR4 y NF- κ B	[106]

5. Estudios de caso

5.1. Quesos enriquecidos

La incorporación de compuestos funcionales en quesos ha sido objeto de múltiples estudios orientados a mejorar su perfil nutricional sin comprometer sus atributos sensoriales. Entre los compuestos adicionados destacan los PUFAs, los péptidos bioactivos y los compuestos fenólicos, cuyas propiedades se asocian con efectos beneficiosos sobre la salud humana.

En el caso de los PUFAs, se ha demostrado que su inclusión en matrices como el queso cheddar puede

mejorar el perfil lipídico mediante el uso de ingredientes como miméticos grasos pectínicos y transglutaminasa, favoreciendo la presencia de ácido linoleico y contribuyendo a la modulación de procesos inflamatorios [108]. La adición de aceite de cártamo, fuente de ácido linoleico conjugado (LCA), también ha mostrado un efecto positivo en la textura y sabor del queso, a la vez que promueve un perfil lipídico funcional [109].

Por otro lado, la inclusión de péptidos bioactivos generados a partir de fuentes microbianas en productos como el queso cheddar ha sido estudiada

por sus posibles aplicaciones en el control de condiciones metabólicas como la hipertensión y la diabetes tipo 2 [110,111].

La incorporación de extractos vegetales y aceites esenciales en quesos ha mostrado efectos positivos sobre la actividad antioxidante del producto, sin afectar negativamente su perfil sensorial. En quesos tipo cheddar, la adición de aceite de cáscara de cítricos o de chía ha permitido mejorar la estabilidad oxidativa, mantener la aceptación del consumidor y extender la vida útil [109,110].

Finalmente, la biodisponibilidad de estos compuestos funcionales depende de su liberación y absorción durante la digestión, lo cual está influido por la estructura de la matriz láctea. Diferentes tipos de queso, como los frescos o los madurados, pueden modificar la bioaccesibilidad de los compuestos adicionados, por lo que la elección del tipo de queso y el método de enriquecimiento son factores determinantes para maximizar los beneficios nutricionales [112].

5.2. Yogur

El desarrollo de yogures funcionales enriquecidos con compuestos prebióticos y probióticos ha sido objeto de creciente interés por su potencial efecto sobre la salud y la aceptabilidad sensorial. Las estrategias de formulación han incorporado fibras como inulina, FOS y β -glucanos, las cuales han demostrado favorecer la viabilidad de cepas probióticas y mejorar el perfil sensorial y nutricional del producto [113–115]. La interacción entre prebióticos y probióticos en formulaciones sinérgicas permite obtener yogures con características sensoriales aceptables y alta preferencia por parte de los consumidores [116,117].

La viabilidad de los microorganismos probióticos durante el almacenamiento es un parámetro determinante en productos funcionales. Se ha observado que fibras específicas, como las de manzana, favorecen la supervivencia de cepas como *Bifidobacterium bifidum* y *Lactobacillus casei*, manteniéndose por encima del umbral terapéutico durante varias semanas de refrigeración [118,119]. Asimismo, extractos de microalgas se han empleado en combinación con *Lactobacillus acidophilus*, mejorando la estabilidad del probiótico y ampliando las propiedades funcionales del yogur [114,120].

En cuanto a los compuestos bioactivos, su incorporación en yogures puede verse afectada por las condiciones de almacenamiento. Ingredientes como pomaza de cítricos enriquecida en polifenoles han permitido mantener la capacidad antioxidante del producto sin alterar su aceptabilidad sensorial [121]. Durante la fermentación, la interacción entre microorganismos y compuestos fenólicos puede originar metabolitos con funciones beneficiosas adicionales, lo cual amplía el valor funcional del yogur [122].

Estas evidencias respaldan la formulación de yogures funcionales como una vía para integrar beneficios fisiológicos sin comprometer la calidad sensorial del producto terminado.

5.3. Bebidas funcionales a base de suero de leche

Las bebidas elaboradas con suero de leche o concentrado proteico de suero han sido objeto de diversos estudios orientados a su aprovechamiento nutricional y funcional. Las formulaciones desarrolladas en los últimos años se han centrado en enriquecer estas matrices con frutas, extractos vegetales o cepas probióticas, con aplicaciones que abarcan tanto la nutrición deportiva como el consumo cotidiano con beneficios añadidos [123–125].

La combinación de suero con frutas ha demostrado mejorar el perfil nutricional y la aceptación sensorial del producto. Bebidas con jugos de manzana y arándano, formuladas con suero de queso ricota, conservaron estabilidad y un contenido aceptable de compuestos bioactivos durante un almacenamiento prolongado [123]. En enfoques similares, se han desarrollado bebidas instantáneas granuladas a base de suero concentrado con jugo de fruto de aronia, las cuales aportan vitaminas y minerales relevantes para situaciones de estrés físico [124]. Batidos proteicos con suero, mango o fresa también han mostrado elevada actividad antioxidante y buena aceptación sensorial [125]. Estos efectos se ven favorecidos por tecnologías como la microfiltración, que mejoran las propiedades organolépticas y la estabilidad del producto [126].

El enriquecimiento con compuestos fenólicos, como extractos de *Myrtus communis* o *Arbutus unedo*, ha aumentado la actividad antioxidante de las bebidas, sin comprometer su estabilidad durante el

almacenamiento [127]. Además, estudios han demostrado que es posible mantener la viabilidad probiótica sin alterar las propiedades fisicoquímicas del producto, lo cual resulta indispensable para asegurar su funcionalidad [128].

En el caso de bebidas fermentadas, se ha documentado la formulación de productos con *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469, que alcanzaron valores superiores a 7 log UFC/mL, actividad antioxidante y características sensoriales comparables a lácteos tradicionales [129]. La inclusión de copoazú en proporciones de hasta 30 % con suero líquido dio como resultado bebidas con alta aceptación sensorial y perfil proteico adecuado [130]. Otro enfoque se basó en el uso de concentrado proteico al 35 % fermentado con bacterias ácido-lácticas, obteniendo bebidas bajas en lactosa y β -lactoglobulina, con alta concentración de aminoácidos esenciales [131].

El mantenimiento de la viabilidad probiótica continúa siendo un reto en estas formulaciones. Se ha evaluado la resistencia de cepas aisladas de *Pilosocereus gounellei* para su posible inclusión en

estas matrices [132], mientras que tecnologías como la microencapsulación han mostrado utilidad para proteger los probióticos durante el procesamiento y almacenamiento [133]. No obstante, los tratamientos térmicos pueden comprometer esta estabilidad, lo que exige cuidado en el diseño del proceso [134].

Finalmente, la aceptación del consumidor depende en gran medida del equilibrio entre funcionalidad y perfil sensorial. Productos desarrollados con aloe vera y agua de coco como parte del vehículo del suero han obtenido altas puntuaciones de aceptación [135]. La creciente demanda de productos lácteos funcionales con beneficios concretos para la salud ha impulsado el desarrollo de estas bebidas, que integran componentes bioactivos sin sacrificar sabor ni textura [136].

Con base en lo anterior, en la Tabla 4 se presenta un resumen comparativo de los principales compuestos bioactivos incorporados en productos lácteos funcionales, destacando sus representantes típicos, los beneficios fisiológicos asociados y las aplicaciones tecnológicas más relevantes dentro del diseño de alimentos funcionales.

Tabla 4. Resumen de compuestos funcionales en lácteos (elaboración propia).

Compuesto funcional	Representantes típicos	Beneficios fisiológicos principales	Aplicaciones tecnológicas destacadas
Probióticos	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Bifidobacterium breve</i> , <i>Saccharomyces boulardii</i>	Modulación de la microbiota, integridad intestinal, activación inmune, producción de AGCC	Fermentación láctea, mejora de viabilidad durante almacenamiento, formulación de yogures y quesos
Prebióticos	Inulina, FOS, β -glucanos	Estímulo de bifidobacterias/lactobacilos, producción de metabolitos beneficiosos, absorción mineral	Mejora de textura, estabilidad y sinergia con probióticos en yogures y leches fermentadas
Antioxidantes	Polifenoles, flavonoides, taninos, carotenoides, vitaminas A, C y E	Captación de radicales libres, protección celular, prevención de enfermedades crónicas	Fortificación de yogures, quesos y bebidas; mejora de estabilidad oxidativa y sensorial
Fibra dietaria	Celulosa, lignina, pectina, gomas, fibras de manzana	Salud intestinal, reducción de colesterol, regulación glicémica, prevención de enfermedades digestivas	Mejora de textura y retención de agua, reducción de contenido graso y densidad calórica
Fitoesteroles	β -sitosterol, campesterol, estigmasterol	Reducción de colesterol LDL, efecto antiinflamatorio, potencial cardioprotector	Enriquecimiento de leches fermentadas, formulaciones submicrométricas, inclusión en matrices grasas
Ácidos grasos esenciales	ALA, EPA, DHA, DPA (omega-3); LA, AA (ácido araquidónico, omega-6)	Acción antiinflamatoria, regulación lipídica, salud cardiovascular	Suplementación animal, microencapsulación, desarrollo de leches enriquecidas y quesos funcionales

Compuesto funcional	Representantes típicos	Beneficios fisiológicos principales	Aplicaciones tecnológicas destacadas
Vitaminas y minerales	Vitamina D, calcio, fósforo, magnesio	Salud ósea, regulación metabólica, mantenimiento de la densidad mineral	Fortificación de leches y yogures, aumento de biodisponibilidad gracias a matriz grasa
Péptidos bioactivos	Péptidos antihipertensivos (inhibidores de ECA), antidiabéticos (inhibidores DPP-IV)	Regulación de presión arterial, actividad antioxidante, inmunomodulación, unión mineral	Generados por hidrólisis enzimática o fermentación, inclusión en leches fermentadas y quesos

5. Conclusiones

Los estudios revisados confirmaron que la adición de compuestos funcionales a productos lácteos, como ácidos grasos poliinsaturados, péptidos bioactivos, probióticos y compuestos fenólicos, permitió el desarrollo de alimentos con propiedades nutricionales mejoradas, sin comprometer su aceptabilidad sensorial. Se observó que diferentes matrices lácteas, incluidos quesos, yogures y bebidas a base de suero, fueron utilizadas como vehículos eficaces para incorporar dichos compuestos, beneficiándose de su composición natural y su versatilidad tecnológica. La estabilidad durante el almacenamiento, la viabilidad de los microorganismos y la bioaccesibilidad de los compuestos añadidos fueron factores evaluados que incidieron en el potencial funcional de los productos desarrollados.

Desde una perspectiva de investigación, se reconoce la necesidad de profundizar en estudios que evalúen el impacto de estas formulaciones en modelos *in vivo*, así como su comportamiento metabólico y su efecto clínico a largo plazo. El aprovechamiento integral de subproductos lácteos, como el suero, representa una línea de desarrollo prometedora para generar alimentos funcionales sostenibles, con aplicaciones dirigidas a grupos poblacionales específicos o contextos clínicos concretos.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). L. García-Curiel (CVU 625969) agradece al programa de Estancias Posdoctorales por México de la SECIHTI por la beca

otorgada. Los autores también agradecen el apoyo brindado por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, los autores expresan su reconocimiento a los revisores anónimos por sus valiosas observaciones y sugerencias, las cuales contribuyeron significativamente a mejorar la claridad y el contenido del manuscrito.

Conflicto de intereses

El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Referencias

- [1] Estrella ME, Vega KM, Cavadiana HU, Caicedo LT. Alimentos funcionales: la tendencia de consumo del siglo XXI. *RECIENA* 2022;2:10–9. <https://doi.org/10.47187/kmh29p98>.
- [2] Guerra-Torres IEDP, García-Guerra JI. Resúmenes de artículos académicos para la presentación de alimentos nutritivos y saludables. *Una revista digital. Polo Conoc* 2020;5:70–85. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i4.1367>.
- [3] Cifelli CJ. Looking beyond traditional nutrients: the role of bioactives and the food matrix on health. *Nutr Rev* 2021;79:1–3. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab100>.
- [4] Granato D, Branco GF, Cruz AG, Faria JDAF, Shah NP. Probiotic Dairy Products as Functional Foods. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2010;9:455–70. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00120.x>.
- [5] Silva JVC, Legland D, Cauty C, Kolotuev I, Floury J. Characterization of the microstructure of dairy systems using automated image analysis. *Food Hydrocoll* 2015;44:360–71. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.09.028>.
- [6] Abdul Hakim BN, Xuan NJ, Oslan SNH. A Comprehensive Review of Bioactive Compounds from Lactic Acid Bacteria: Potential Functions as Functional Food in Dietetics and the Food Industry. *Foods* 2023;12:2850. <https://doi.org/10.3390/foods12152850>.
- [7] Ağagündüz D, Yılmaz B, Şahin TÖ, Güneşliol BE, Ayten Ş, Russo P, et al. Dairy Lactic Acid Bacteria and Their Potential Function in Dietetics: The Food–Gut–Health Axis. *Foods* 2021;10:3099. <https://doi.org/10.3390/foods10123099>.

- [8] Kaur H, Kaur G, Ali SA. Dairy-Based Probiotic-Fermented Functional Foods: An Update on Their Health-Promoting Properties. *Fermentation* 2022;8:425. <https://doi.org/10.3390/fermentation8090425>.
- [9] Mathur H, Beresford TP, Cotter PD. Health Benefits of Lactic Acid Bacteria (LAB) Fermentates. *Nutrients* 2020;12:1679. <https://doi.org/10.3390/nu12061679>.
- [10] Ní Chonnacháin C, Feeney EL, Gollogly C, Shields DC, Loscher CE, Cotter PD, et al. The effects of dairy on the gut microbiome and symptoms in gastrointestinal disease cohorts: a systematic review. *Gut Microbiome* 2024;5:e5. <https://doi.org/10.1017/gmb.2024.2>.
- [11] Saleem GN, Gu R, Qu H, Bahar Khaskheli G, Rashid Rajput I, Qasim M, et al. Therapeutic potential of popular fermented dairy products and its benefits on human health. *Front Nutr* 2024;11:1328620. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1328620>.
- [12] Balthazar CF, Santillo A, Guimarães JT, Capozzi V, Russo P, Caroprese M, et al. Novel milk–juice beverage with fermented sheep milk and strawberry (*Fragaria* × *ananassa*): Nutritional and functional characterization. *J Dairy Sci* 2019;102:10724–36. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16909>.
- [13] Damián MR, Cortes-Perez NG, Quintana ET, Ortiz-Moreno A, Garfias Noguez C, Cruceño-Casarrubias CE, et al. Functional Foods, Nutraceuticals and Probiotics: A Focus on Human Health. *Microorganisms* 2022;10:1065. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10051065>.
- [14] Mazlum H, Atasever M. Probiotic cheese as a functional food. *Asian-Australas J Food Saf Secur* 2023;7:20–32. <https://doi.org/10.3329/aajfss.v7i1.65482>.
- [15] Arora S, Prabha K, Sharanagat VS, Mishra V. Consumer awareness and willingness to purchase probiotic food and beverage products: a study of Sonapat district, Haryana. *Br Food J* 2021;123:2805–17. <https://doi.org/10.1108/BFJ-06-2020-0469>.
- [16] Céspedes M, Cárdenas P, Staffolani M, Ciappini MC, Vinderola G. Performance in Nondairy Drinks of Probiotic *L. casei* Strains Usually Employed in Dairy Products. *J Food Sci* 2013;78. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12092>.
- [17] Chaudhari A, Gurjar MD, Kamani KC, Prajapati MC, Makwana AK. A Study of Awareness and Student's Buying Behaviour towards Probiotic Dairy Products at Anand City, India. *J Sci Res Rep* 2024;30:66–72. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i82225>.
- [18] Aspri M, Papademas P, Tsaltsas D. Review on Non-Dairy Probiotics and Their Use in Non-Dairy Based Products. *Fermentation* 2020;6:30. <https://doi.org/10.3390/fermentation6010030>.
- [19] Min M, Bunt C, Mason S, Bennett G, Hussain M. Effect of Non-Dairy Food Matrices on the Survival of Probiotic Bacteria during Storage. *Microorganisms* 2017;5:43. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030043>.
- [20] Samedi L, Charles AL. Functional Activity of Four Autochthonous Strains *L. paraplantarum* AB362736.1, *L. plantarum* MF369875.1, *W. paramesenteroides* CP023501.1, and *E. faecalis* HQ802261.1 in a Probiotic Grape Marmalade during Storage. *Antioxidants* 2019;8:165. <https://doi.org/10.3390/antiox8060165>.
- [21] Clark BE, Pope L, Belarmino EH. Personal bias in nutrition advice: A survey of healthcare professionals' recommendations regarding dairy and plant-based dairy alternatives 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.07.20.21260856>.
- [22] Clegg ME, Tarrado Ribes A, Reynolds R, Kliem K, Stergiadis S. A comparative assessment of the nutritional composition of dairy and plant-based dairy alternatives available for sale in the UK and the implications for consumers' dietary intakes. *Food Res Int* 2021;148:110586. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110586>.
- [23] Granato D, Barba FJ, Bursać Kovačević D, Lorenzo JM, Cruz AG, Putnik P. Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annu Rev Food Sci Technol* 2020;11:93–118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>.
- [24] Hassoun A, Bekhit AE-D, Jambrak AR, Regenstein JM, Chemat F, Morton JD, et al. The fourth industrial revolution in the food industry—part II: Emerging food trends. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2024;64:407–37. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2106472>.
- [25] Comunian TA, Silva MP, Souza CJF. The use of food by-products as a novel for functional foods: Their use as ingredients and for the encapsulation process. *Trends Food Sci Technol* 2021;108:269–80. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.003>.
- [26] Alongi M, Anese M. Re-thinking functional food development through a holistic approach. *J Funct Foods* 2021;81:104466. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104466>.
- [27] Alais C. Ciencia de la leche. *Reverte*; 2022.
- [28] Villamil RA, Robelto GE, Mendoza MC, Guzmán MP, Cortés LY, Méndez CA, et al. Desarrollo de productos lácteos funcionales y sus implicaciones en la salud: Una revisión de literatura. *Rev Chil Nutr* 2020;47:1018–28. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000601018>.
- [29] Kelava Ugarković N, Petrović I, Prpić Z, Vnučec I, Konjačić M. Seasonal changes in diet affect fatty acid composition of Jersey milk in organic production system. *J Cent Eur Agric* 2022;23:267–73. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.2.3502>.
- [30] Khastayeva AZ, Zhamurova VS, Mamayeva LA, Kozhabergenov AT, Karimov NZ, Muratbekova KM. Qualitative indicators of milk of Simmental and Holstein cows in different seasons of lactation. *Vet World* 2021;14:956–63. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.956-963>.
- [31] Magan JB, O'Callaghan TF, Kelly AL, McCarthy NA. Compositional and functional properties of milk and dairy products derived from cows fed pasture or concentrate-based diets. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2021;20:2769–800. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12751>.
- [32] Tumino S, Criscione A, Moltisanti V, Marletta D, Bordonaro S, Avondo M, et al. Feeding System Resizes the Effects of DGAT1 Polymorphism on Milk Traits and Fatty Acids Composition in Modicana Cows. *Animals* 2021;11:1616. <https://doi.org/10.3390/ani11061616>.
- [33] Tumino S, Bognanno M, Chessari G, Tolone M, Bordonaro S, Mangano F, et al. Polymorphisms at Candidate Genes for Fat Content and Fatty Acids Composition: Effects on Sheep Milk Production and Fatty Acid Profile Using Two Dietary Supplementations. *Animals* 2023;13:2533. <https://doi.org/10.3390/ani13152533>.
- [34] Collard KM, McCormick DP. A Nutritional Comparison of Cow's Milk and Alternative Milk Products. *Acad Pediatr* 2021;21:1067–9. <https://doi.org/10.1016/j.acap.2020.12.007>.
- [35] Kilic-Akyilmaz M, Ozer B, Bulat T, Topcu A. Effect of heat treatment on micronutrients, fatty acids and some bioactive components of milk. *Int Dairy J* 2022;126:105231. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105231>.
- [36] Campo Banguero LM, Ramírez Navas JS. Capacidad antioxidante en helados y derivados lácteos. *Rev Colomb Investig Agroindustriales* 2021;8:23–41.
- [37] Levin S. Dairy Products and Bone Health. *J Am Diet Assoc* 2007;107:35. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.11.037>.
- [38] Visioli F, Strata A. Milk, Dairy Products, and Their Functional Effects in Humans: A Narrative Review of Recent Evidence. *Adv Nutr* 2014;5:131–43. <https://doi.org/10.3945/an.113.005025>.
- [39] García-Burgos M, Moreno-Fernández J, Alférez MJM, Díaz-Castro J, López-Aliaga I. New perspectives in fermented dairy products and their health relevance. *J Funct Foods* 2020;72:104059. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104059>.
- [40] Yiğit A, Bielska P, Cais-Sokolińska D, Samur G. Whey proteins as a functional food: Health effects, functional properties, and applications in food. *J Am Nutr Assoc* 2023;42:758–68. <https://doi.org/10.1080/27697061.2023.2169208>.

- [41] Anjana, Tiwari SK. Bacteriocin-Producing Probiotic Lactic Acid Bacteria in Controlling Dysbiosis of the Gut Microbiota. *Front Cell Infect Microbiol* 2022;12:851140. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.851140>.
- [42] Aslam H, Marx W, Rocks T, Loughman A, Chandrasekaran V, Ruusunen A, et al. The effects of dairy and dairy derivatives on the gut microbiota: a systematic literature review. *Gut Microbes* 2020;12:1799533. <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1799533>.
- [43] Wang X, Zhang P, Zhang X. Probiotics Regulate Gut Microbiota: An Effective Method to Improve Immunity. *Molecules* 2021;26:6076. <https://doi.org/10.3390/molecules26196076>.
- [44] Chen E, Ajami NJ, White DL, Liu Y, Gurwara S, Hoffman K, et al. Dairy Consumption and the Colonic Mucosa-Associated Gut Microbiota in Humans—A Preliminary Investigation. *Nutrients* 2025;17:567. <https://doi.org/10.3390/nu17030567>.
- [45] Haghshenas B, Nami Y, Almasi A, Abdullah N, Radiah D, Rosli R, et al. Isolation and characterization of probiotics from dairies. *Iran J Microbiol* 2017;9:234–43.
- [46] Pan Z, Ma T, Steele M, Guan LL. Varied microbial community assembly and specialization patterns driven by early life microbiome perturbation and modulation in young ruminants. *ISME Commun* 2024;4:ycae044. <https://doi.org/10.1093/ismeco/ycae044>.
- [47] Illikoud N, Mantel M, Rolli-Derkinderen M, Gagnaire V, Jan G. Dairy starters and fermented dairy products modulate gut mucosal immunity. *Immunol Lett* 2022;251–252:91–102. <https://doi.org/10.1016/j.imlet.2022.11.002>.
- [48] Dahiya D, Nigam PS. Nutrition and Health through the Use of Probiotic Strains in Fermentation to Produce Non-Dairy Functional Beverage Products Supporting Gut Microbiota. *Foods* 2022;11:2760. <https://doi.org/10.3390/foods11182760>.
- [49] Goderska K, Dombhare K, Radziejewska-Kubzdela E. Probiotics in Vegetable Juices: Tomato (*Solanum Lycopersicum*), Carrot (*Daucus Carota*, Subsp. *Sativus*) and Beetroot Juice (*Beta Vulgaris*) 2021. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-907042/v1>.
- [50] Hariwal A. Isolation, Screening And Characterization Of Dairy Isolated Probiotics. *Afr J Biol Sci* 2024;6:3474–88. <https://doi.org/10.48047/AFJBS.6.S14.2024.3474-3488>.
- [51] Su ACY, Ding X, Lau HCH, Kang X, Li Q, Wang X, et al. *Lactococcus lactis* HkyuLL 10 suppresses colorectal tumorigenesis and restores gut microbiota through its generated alpha-mannosidase. *Gut* 2024;73:1478–88. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2023-330835>.
- [52] Elshaghabe F. Probiotics in Dairy Foods: Advantages and Disadvantages. *Egypt J Agric Sci* 2023;74:1–18. <https://doi.org/10.21608/ejarc.2023.304665>.
- [53] Kaur H, Gupta T, Kapila S, Kapila R. Role of fermented dairy foods in human health. *Indian J Dairy Sci* 2020;73:97–110. <https://doi.org/10.33785/IJDS.2020.v73i02.001>.
- [54] Lee H-J, Ham D-W, Seo S-H, Cha G-H, Shin E-H. Probiotic-induced changes in intestinal microbiome inhibits *Toxoplasma gondii* infection. *Parasites Hosts Dis* 2024;62:408–23. <https://doi.org/10.3347/PHD.24068>.
- [55] Luo M, Yan J, Wu L, Wu J, Chen Z, Jiang J, et al. Probiotics Alleviated Nonalcoholic Fatty Liver Disease in High-Fat Diet-Fed Rats via Gut Microbiota/FXR/FGF15 Signaling Pathway. *J Immunol Res* 2021;2021:1–10. <https://doi.org/10.1155/2021/2264737>.
- [56] Mohamad Nor MH, Ayob N, Mokhtar NM, Raja Ali RA, Tan GC, Wong Z, et al. The Effect of Probiotics (MCP® BCMC® Strains) on Hepatic Steatosis, Small Intestinal Mucosal Immune Function, and Intestinal Barrier in Patients with Non-Alcoholic Fatty Liver Disease. *Nutrients* 2021;13:3192. <https://doi.org/10.3390/nu13093192>.
- [57] Li S-J, So J-S. In Vitro Characterization of Cell Surface Properties of 14 Vaginal *Lactobacillus* Strains as Potential Probiotics. *Adv Microbiol* 2021;11:144–55. <https://doi.org/10.4236/aim.2021.112010>.
- [58] Tropcheva R, Georgieva R, Paskov V, Karsheva M, Danova S. Sensory Properties of Bulgarian Yogurts, Supplemented with *Lactobacilli* as Probiotic Adjuncts. *J Texture Stud* 2014;45:187–94. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12065>.
- [59] Wang J, Lang T, Shen J, Dai J, Tian L, Wang X. Core Gut Bacteria Analysis of Healthy Mice. *Front Microbiol* 2019;10:887. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00887>.
- [60] Lerner A, Matthias T, Aminov R. Potential Effects of Horizontal Gene Exchange in the Human Gut. *Front Immunol* 2017;8:1630. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.01630>.
- [61] Pereira J, Simões M, Silva JL. Microalgal assimilation of vitamin B₁₂ toward the production of a superfood. *J Food Biochem* 2019;43. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12911>.
- [62] Brunser O. Avances en el conocimiento de las proteínas de la leche materna. *Rev Chil Pediatría* 2018;89:261–9. <https://doi.org/10.4067/S0370-41062018000200261>.
- [63] Azad MdAK, Sarker M, Li T, Yin J. Probiotic Species in the Modulation of Gut Microbiota: An Overview. *BioMed Res Int* 2018;2018:1–8. <https://doi.org/10.1155/2018/9478630>.
- [64] Campos DCDS, Neves LTBC, Flach A, Mendes JKS, Souza BOD, Silva ADN. Contagem de microrganismos probióticos em leites fermentados adicionados de açaí e camu-camu. In: Silva TMD, Deus CD, editors. *Probióticos Viabilidade E Saúde*. 1st ed., Canoas, RS, Brazil: Mérida Publishers; 2022. <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-09-1.c3>.
- [65] Aguayo VM, Ross J, Saunero R, Tórrez A, Johnston R. Valor monetario de la leche materna en Bolivia. *Rev Panam Salud Pública* 2001;10:249–56. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892001001000005>.
- [66] Moraes ALFD, Bueno RGAL, Fuentes-Rojas M, Antunes AEC. Suplementação com probióticos e depressão: estratégia terapêutica? *Rev. Ciênc. Médicas* 2019;28:31. <https://doi.org/10.24220/2318-0897v28n1a4455>.
- [67] Quevedo DM, Ochoa JE, Corredor JR, Pulecio SL. Efectos de la adición de probiótico *Saccharomyces cerevisiae* sobre histomorfología intestinal en pollos de engorde. *Rev Fac Med Vet Zootec* 2021;67:239–52. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v67n3.93931>.
- [68] Hill C, Guarner F, Reid G, Gibson GR, Merenstein DJ, Pot B, et al. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 2014;11:506–14. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>.
- [69] Pachekrepapol U, Somboonchai N, Krimjai W. Physicochemical, rheological, and microbiological properties of lactose-free functional yogurt supplemented with fructooligosaccharides. *J Food Process Preserv* 2021;45. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15017>.
- [70] Slavin J. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. *Nutrients* 2013;5:1417–35. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>.
- [71] Delgado-Fernández P, Hernández-Hernández O, Olano A, Moreno FJ, Corzo N. Probiotic viability in yoghurts containing oligosaccharides derived from lactulose (OsLu) during fermentation and cold storage. *Int Dairy J* 2020;102:104621. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104621>.
- [72] Liao W, Su M, Zhang D. A study on the effect of symbiotic fermented milk products on human gastrointestinal health: Double-blind randomized controlled clinical trial. *Food Sci Nutr* 2022;10:2947–55. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2890>.
- [73] Rosa MC, Carmo MRS, Balthazar CF, Guimarães JT, Esmerino EA, Freitas MQ, et al. Dairy products with prebiotics: An overview of the health benefits, technological and sensory properties. *Int Dairy J* 2021;117:105009. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105009>.
- [74] Coronado M, Vega Y León S, Gutiérrez T R, Vázquez F M, Radilla V C. Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Rev Chil Nutr* 2015;42:206–12. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>.

- [75] Cardoso MAP, Carvalho VM, Ribas JCR, Saraiva BR, Anjo FA. Implicações nutricionais e tecnológicas da inclusão de antioxidantes em produtos lácteos. *Res Soc Dev* 2021;10:e11101320866. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.20866>.
- [76] Mejía-Doria CM, Orozco-Parra J, Hernando IM, Rodríguez-Barona S. Impregnación a Vacío de Matrices de Cidra con Pulpa de Lulo, Inulina y Calcio para Potenciar sus Características Funcionales. *Inf Tecnológica* 2019;30:211–8. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300211>.
- [77] Ochoa Ospina CI, Sepúlveda Valencia JU, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Maldonado ME, Universidad de Antioquia, Zapata Acosta K, et al. Propiedades antioxidantes de extractos de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey) en crema de leche. *Perspect En Nutr Humana* 2014;16. <https://doi.org/10.17533/udea.penh.v16n2a06>.
- [78] Narayanan S, Pitchumoni CS. Dietary Fiber. In: Pitchumoni CS, Dharmarajan TS, editors. *Geriatr. Gastroenterol.*, Cham: Springer International Publishing; 2020, p. 1–16. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90761-1_27-1.
- [79] Alanís-García E, González-Rubio PY, Delgado-Olivares L, Cruz-Cansino NDS. Fibra dietética: historia, definición y efectos en la salud. *Educ Salud Bol Científico Inst Cienc Salud Univ Autónoma Estado Hidalgo* 2021;9:187–95. <https://doi.org/10.29057/icsa.v9i18.6604>.
- [80] Ambuja SR, Rajakumar SN. Review On “Dietary Fiber Incorporated Dairy Foods: A Healthy Trend.” *J Eng Res Appl* 2018;8:34–40. <https://doi.org/10.9790/9622-0802033440>.
- [81] Brañes MC, Gillet R, Valenzuela R. Efficacy of Submicron Dispersible Free Phytosterols on Non-Alcoholic Fatty Liver Disease: A Pilot Study. *J Clin Med* 2023;12:979. <https://doi.org/10.3390/jcm12030979>.
- [82] Gillet R, Cerda-Drago TG, Brañes MC, Valenzuela R. Submicron Dispersions of Phytosterols Reverse Liver Steatosis with Higher Efficacy than Phytosterol Esters in a Diet Induced-Fatty Liver Murine Model. *Int J Mol Sci* 2025;26:564. <https://doi.org/10.3390/ijms26020564>.
- [83] Poudel A, Gachumi G, Paterson PG, El-Anead A, Badea I. Liposomal Phytosterols as LDL-Cholesterol-Lowering Agents in Diet-Induced Hyperlipidemia. *Mol Pharm* 2023;20:4443–52. <https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.2c01072>.
- [84] Cicero AFG, Fogacci F, Giovannini M, Rizzoli E, Grandi E, D’Addato S, et al. The Effect of Dietary Supplementation with Plant Sterols on Total and LDL-Cholesterol in Plasma Is Affected by Adherence to Mediterranean Diet: Insights from the DESCO Randomized Clinical Study. *Nutrients* 2023;15:4555. <https://doi.org/10.3390/nu15214555>.
- [85] Song L, Zhao XG, Ouyang PL, Guan Q, Yang L, Peng F, et al. Combined effect of n-3 fatty acids and phytosterol esters on alleviating hepatic steatosis in non-alcoholic fatty liver disease subjects: a double-blind placebo-controlled clinical trial. *Br J Nutr* 2020;123:1148–58. <https://doi.org/10.1017/S0007114520000495>.
- [86] Frasinariu O, Serban R, Trandafir LM, Miron I, Starcea M, Vasiliu I, et al. The Role of Phytosterols in Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Nutrients* 2022;14:2187. <https://doi.org/10.3390/nu14112187>.
- [87] Nattagh-Eshstivani E, Barghchi H, Pahlavani N, Barati M, Amiri Y, Fadel A, et al. Biological and pharmacological effects and nutritional impact of phytosterols: A comprehensive review. *Phytother Res* 2022;36:299–322. <https://doi.org/10.1002/ptr.7312>.
- [88] Yang Y, Xia J, Yu T, Wan S, Zhou Y, Sun G. Effects of phytosterols on cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Phytother Res* 2025;39:3–24. <https://doi.org/10.1002/ptr.8308>.
- [89] Alagawany M, Elnesr SS, Farag MR, El-Sabrou K, Alqaisi O, Dawood MAO, et al. Nutritional significance and health benefits of omega-3, -6 and -9 fatty acids in animals. *Anim Biotechnol* 2022;33:1678–90. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1869562>.
- [90] Nguyen QV, Malau-Aduli BS, Cavalieri J, Nichols PD, Malau-Aduli AEO. Enhancing Omega-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acid Content of Dairy-Derived Foods for Human Consumption. *Nutrients* 2019;11:743. <https://doi.org/10.3390/nu11040743>.
- [91] Kim T-B, Lee J-S, Cho S-Y, Lee H-G. In Vitro and In Vivo Studies of Rumen-Protected Microencapsulated Supplement Comprising Linseed Oil, Vitamin E, Rosemary Extract, and Hydrogenated Palm Oil on Rumen Fermentation, Physiological Profile, Milk Yield, and Milk Composition in Dairy Cows. *Animals* 2020;10:1631. <https://doi.org/10.3390/ani10091631>.
- [92] Savatinova M, Ivanova M. Functional dairy products enriched with omega-3 fatty acids. *Food Sci Appl Biotechnol* 2024;7:1. <https://doi.org/10.30721/fsab2024.v7.i1.301>.
- [93] Cheng M, Zhang S, Ning C, Huo Q. Omega-3 Fatty Acids Supplementation Improve Nutritional Status and Inflammatory Response in Patients With Lung Cancer: A Randomized Clinical Trial. *Front Nutr* 2021;8:686752. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.686752>.
- [94] Qin J, Kurt E, LBassi T, Sa L, Xie D. Biotechnological production of omega-3 fatty acids: current status and future perspectives. *Front Microbiol* 2023;14:1280296. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1280296>.
- [95] Urrutia O, Mendizabal JA, Alfonso L, Soret B, Insausti K, Arana A. Adipose Tissue Modification through Feeding Strategies and Their Implication on Adipogenesis and Adipose Tissue Metabolism in Ruminants. *Int J Mol Sci* 2020;21:3183. <https://doi.org/10.3390/ijms21093183>.
- [96] Damodaran S, Parkin KL, editors. *Fennema’s food chemistry*. Fifth edition. Boca Raton: CRC Press; 2017.
- [97] Cianferotti L, Bifulco G, Caffarelli C, Mazziotti G, Migliaccio S, Napoli N, et al. Nutrition, Vitamin D, and Calcium in Elderly Patients before and after a Hip Fracture and Their Impact on the Musculoskeletal System: A Narrative Review. *Nutrients* 2024;16:1773. <https://doi.org/10.3390/nu16111773>.
- [98] McCourt AF, Mulrooney SL, O’Neill GJ, O’Riordan ED, O’Sullivan AM. Postprandial 25-hydroxyvitamin D response varies according to the lipid composition of a vitamin D3 fortified dairy drink. *Int J Food Sci Nutr* 2022;73:396–406. <https://doi.org/10.1080/09637486.2021.1984400>.
- [99] Morato-Martínez M, López-Plaza B, Santurino C, Palma-Milla S, Gómez-Candela C. A Dairy Product to Reconstitute Enriched with Bioactive Nutrients Stops Bone Loss in High-Risk Menopausal Women without Pharmacological Treatment. *Nutrients* 2020;12:2203. <https://doi.org/10.3390/nu12082203>.
- [100] Cormick G, Betran A, Romero I, Cormick M, Belizán J, Bardach A, et al. Effect of Calcium Fortified Foods on Health Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients* 2021;13:316. <https://doi.org/10.3390/nu13020316>.
- [101] Rizzoli R. Dairy products and bone health. *Aging Clin Exp Res* 2021;34:9–24. <https://doi.org/10.1007/s40520-021-01970-4>.
- [102] Ansari S, Mohammadifard N, Hajhashemi P, Haghghatdoost F, Zarepur E, Mahmoudi S, et al. The relationship between fermented and nonfermented dairy products consumption and hypertension among premature coronary artery disease patients: Iran premature coronary artery disease study. *Food Sci Nutr* 2024;12:3322–35. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3998>.
- [103] Dalabasmaz S, de la Torre EP, Gensberger-Reigl S, Pischetsrieder M, Rodríguez-Ortega MJ. Identification of Potential Bioactive Peptides in Sheep Milk Kefir through Peptidomic Analysis at Different Fermentation Times. *Foods* 2023;12:2974. <https://doi.org/10.3390/foods12152974>.
- [104] Wang Y, Liang Z, Shen F, Zhou W, Manaer T, Jiaerken D, et al. Exploring the immunomodulatory effects and mechanisms of Xinjiang fermented camel milk-derived bioactive peptides based on network pharmacology and molecular docking. *Front Pharmacol* 2023;13:1038812. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1038812>.
- [105] Kusumaningtyas E, Ermayati E, Suherman S, Endrawati D, Ahmad RZ. Antifungal Activity of Peptide Fractions from Goat, Mare and Soybean Milk to *Candida albicans* and *Trichophyton mentagrophytes*. In: Nurlaila I, Ulfa Y, Anastasia H, Putro G, Rachmalina R, Ika Agustiya

- R, et al., editors. Proc. 1st Int. Conf. Health Res. – BRIN ICHR 2022, Dordrecht: Atlantis Press International BV; 2023, p. 21–8. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-112-8_3.
- [106] Xie Y, Li M, Zhang S. Identification of peptides from protease-fermented milk protein and immunomodulatory effect in vivo against lipopolysaccharide-induced inflammation. *Int J Food Sci Technol* 2022;57:6503–11. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15989>.
- [107] García-Curiel L, Berenice O-RL, Elizabeth C-GA, Emmanuel P-E, Pérez-Flores JG, Guillermo G-OL. DPP-IV Inhibitory Peptides From Whey Proteins: Production, Functional Mechanisms, Bibliometric Insights, and Future Directions for Type 2 Diabetes Therapy. *Pept Sci* 2025;117:e70000. <https://doi.org/10.1002/pep2.70000>.
- [108] Li J, Cui H, Xu X, Li J, Lu M, Yu Y, et al. Effects of pectic fat mimetics and transglutaminase on the regularity of protein and fat degradation and flavour compounds in Cheddar cheese during ripening. *Int J Food Sci Technol* 2022;57:1291–302. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15519>.
- [109] Khan A, Nadeem M, Imran M, Gulzar N, Ahmad MH, Tayyab M, et al. Impact of safflower oil derived conjugated linoleic acid supplementation on fatty acids profile, lipolysis and sensory properties of cheddar cheese. *Int J Food Prop* 2022;25:2223–36. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2130356>.
- [110] Nadeem M, Qureshi TM, Sarfraz S, Ur-Rehman S, Rehman A, Malik F, et al. Effect of Kinnow (*Citrus nobilis* × *C. deliciosa*) Peel Oil Coating on the Shelf Stability and Antioxidant Potential of Cheddar Cheese. *J Food Qual* 2023;2023:1–11. <https://doi.org/10.1155/2023/6653063>.
- [111] Shafique B, Murtaza MA, Hafiz I, Ameer K, Basharat S, Mohamed Ahmed IA. Proteolysis and therapeutic potential of bioactive peptides derived from Cheddar cheese. *Food Sci Nutr* 2023;11:4948–63. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3501>.
- [112] Thøgersen R, Egsgaard KL, Kjølbaek L, Jensen KJ, Astrup A, Hammershøj M, et al. Effect of Dairy Matrix on the Postprandial Blood Metabolome. *Nutrients* 2021;13:4280. <https://doi.org/10.3390/nu13124280>.
- [113] Dias SS, De Souza Vergílio D, Pereira AM, Klososki SJ, Marcolino VA, Da Cruz RMS, et al. Probiotic Greek yogurt: effect of the addition of prebiotic fat substitutes on the physicochemical characteristics, probiotic survival, and sensory acceptance. *J Dairy Res* 2021;88:98–104. <https://doi.org/10.1017/S0022029921000121>.
- [114] Kazemeini H, Azizian A, Ahmadi K. Preparation of Synbiotic Yogurt Sauce Containing *Spirulina platensis* Microalgae Extract and Its Effect on the Viability of *Lactobacillus acidophilus*. *BioMed Res Int* 2023;2023:8434865. <https://doi.org/10.1155/2023/8434865>.
- [115] Kim C, Yoon L, Michels K, Tranfield W, Jacobs J, May F. The Impact of Prebiotic, Probiotic, and Synbiotic Supplements and Yogurt Consumption on the Risk of Colorectal Neoplasia among Adults: A Systematic Review. *Nutrients* 2022;14:4937. <https://doi.org/10.3390/nu14224937>.
- [116] Alamoudi SA, Saad AM, Alsubhi NH, Alrefaei GI, Al-Quwaie DA, Binothman N, et al. Upgrading the physicochemical and sensory quality of yogurt by incorporating polyphenol-enriched citrus pomaces with antioxidant, antimicrobial, and antitumor activities. *Front Nutr* 2022;9:999581. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.999581>.
- [117] Mediantari Wahyu Wibawanti J, Mulyani S, Hartanto R, Ni'matullah Al-Baarri A, Budi Pramono Y, Mohamad Legowo A. The Characteristics of Goat Milk Synbiotics-Yogurt using *Lactobacillus plantarum* as Probiotic and Inulin of Mangrove Apple (*Sonneratia caseolaris*). *Adv Anim Vet Sci* 2022;10. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.11.2457.2463>.
- [118] Dimitrellou D, Sakadani E, Kandylis P. Enhancing Probiotic Viability in Yogurt: The Role of Apple Fibers in Supporting *Lactobacillus casei* ATCC 393 During Storage and Gastrointestinal Transit. *Foods* 2025;14:376. <https://doi.org/10.3390/foods14030376>.
- [119] Nami Y, Kiani A, Elieh-Ali-Komi D, Jafari M, Haghshenas B. Impacts of alginate–basil seed mucilage–prebiotic microencapsulation on the survival rate of the potential probiotic *Leuconostoc mesenteroides* ABR11NW . N18 in yogurt. *Int J Dairy Technol* 2023;76:138–48. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12909>.
- [120] Ayaz R, Andiç S, Oğuz Ş. The effect of pine honey on the viability of probiotics and some properties of probiotic yogurt. *J Hell Vet Med Soc* 2024;75:8099–112. <https://doi.org/10.12681/jhvms.37054>.
- [121] Inocente-Camones MA, Arias-Arroyo GC, Mauricio-Alza SM, Bravo-Araujo GT, Capcha-Siccha MF, Cabanillas-Alvitrez E. Polyphenols, carotenoids and flavonoids in an antioxidant probiotic yogurt made with tumbo pulp (*Passiflora tripartita* Kunth). *Braz J Food Technol* 2022;25:e2021175. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.17521>.
- [122] Sarwar A, Al-Dalali S, Aziz T, Yang Z, Ud Din J, Khan AA, et al. Effect of Chilled Storage on Antioxidant Capacities and Volatile Flavors of Synbiotic Yogurt Made with Probiotic Yeast *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745 in Combination with Inulin. *J Fungi* 2022;8:713. <https://doi.org/10.3390/jof8070713>.
- [123] Cortellino G, Rizzolo A. Storage Stability of Novel Functional Drinks Based on Ricotta Cheese Whey and Fruit Juices. *Beverages* 2018;4:67. <https://doi.org/10.3390/beverages4030067>.
- [124] Turova N, Stabrovskaya E, Vasilchenko N, Prosin M, Moiseev A. The use of functional food products for the prevention of vitamin deficiency in people with increased physical and neuropsychic stress on the example of firefighters-rescuers. *E3S Web Conf* 2021;273:13008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127313008>.
- [125] Santos Espinosa A, Heredia Castro PY, Sosa Castañeda J, Aguilar Toalá JE. Antioxidant activity and sensory acceptability of whey protein-based smoothie beverages made from mango (*Mangifera indica* L.) cv Haden and strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv Festival. *Agro Product* 2024. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i2.2789>.
- [126] Vieira AH, Balthazar CF, Rocha RS, Silva R, Guimaraes JT, Pagani MM, et al. The free listing task for describing the sensory profiling of dairy foods: A case study with microfiltered goat whey orange juice beverage. *J Sens Stud* 2020;35:e12594. <https://doi.org/10.1111/joss.12594>.
- [127] Detti C, Nascimento LBDS, Gori A, Vanti G, Amato G, Nazzaro F, et al. Addition of polyphenolic extracts of *Myrtus communis* and *Arbutus unedo* fruits to whey: valorization of a common dairy waste product as a functional food. *J Sci Food Agric* 2025;105:2559–68. <https://doi.org/10.1002/jsfa.14029>.
- [128] Abitayeva G, Bissenova G, Mussabayeva B, Naimanov Y, Tultabayeva T, Sarmurzina Z. Development, quality and safety evaluation of a probiotic whey beverage. *Funct Foods Health Dis* 2023;13:347. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v13i7.1121>.
- [129] Bulatović MLj, Krunić TŽ, Vukašinović-Sekulić MS, Zarić DB, Rakin MB. Quality attributes of a fermented whey-based beverage enriched with milk and a probiotic strain. *RSC Adv* 2014;4:55503–10. <https://doi.org/10.1039/C4RA08905G>.
- [130] Rodríguez Basantes AI, Abad Basante CA, Pérez Martínez A, Diéguez Santana K. Elaboración de una bebida a base de suero lácteo y pulpa de *Theobroma grandiflorum*. *Biotechnol En El Sect Agropecu Agroindustrial* 2020;18:166. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(18\)166-175](https://doi.org/10.18684/BSAA(18)166-175).
- [131] Pescuma M, Hébert EM, Mozzi F, Font De Valdez G. Functional fermented whey-based beverage using lactic acid bacteria. *Int J Food Microbiol* 2010;141:73–81. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.04.011>.
- [132] Sampaio KB, De Albuquerque TMR, Rodrigues NPA, De Oliveira MEG, De Souza EL. Selection of Lactic Acid Bacteria with In Vitro Probiotic-Related Characteristics from the Cactus *Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex. K. Schum.) Bly. ex Rowl. *Foods* 2021;10:2960. <https://doi.org/10.3390/foods10122960>.
- [133] Yao M, Xie J, Du H, McClements DJ, Xiao H, Li L. Progress in microencapsulation of probiotics: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2020;19:857–74. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12532>.

- [134] Dharani Kumar M, Anupama M, Davuddin Baig M, Beena A, Rajakumar S. Development and characterisation of synbiotic whey beverage. *Indian J Dairy Sci* 2021;74:208–14. <https://doi.org/10.33785/IJDS.2021.v74i03.003>.
- [135] Sharma NC, Bais B, Vyas J, Sharma A. Development and Sensory Evaluation of Aloevera and Coconut Water based Whey Beverages Prepared from Camel and Goat Milk. *Asian J Dairy Food Res* 2022. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-1742>.
- [136] Herrera-Ponce AL, Salmeron-Ochoa I, Rodriguez-Figueroa JC, Santellano-Estrada E, Garcia-Galicia IA, Vargas-Bello-Pérez E, et al. Functional properties and consumer acceptance of whey-oat beverages under different ultrasonication times and inulin concentration. *J Food Process Preserv* 2022;46. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16907>.