

Innovación y sostenibilidad en torno al suero lácteo: una revisión
bibliográfica



Innovación y sostenibilidad en torno al suero lácteo en la industria alimentaria: una
revisión bibliográfica con enfoque bibliométrico

Daniel Esteban Salazar Taboada

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Mayo de 2026

Innovación y sostenibilidad en torno al suero lácteo: una revisión
bibliográfica

Innovación y sostenibilidad en torno al suero lácteo en la industria alimentaria: una
revisión bibliográfica con enfoque bibliométrico

Daniel Esteban Salazar Taboada

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de
Proyectos

Asesora:
Ivonne Tatiana Muñoz Martínez
Magíster en Administración

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Rectoría Virtual
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos
mayo de 2026

Innovación y sostenibilidad en torno al suero lácteo: una revisión
bibliográfica

Contenido

Lista de tablas	5
Lista de figuras.....	6
Lista de anexos.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción	10
1. Planteamiento Del Problema	12
1.1 Descripción del problema	12
1.2 La pregunta de investigación	13
1.3 Los objetivos de investigación.....	13
1.3.1 Objetivo general.....	13
1.3.2 Objetivos específicos	13
1.4 Justificación de la investigación	13
2. Marco de referencia.....	15
2.1 Marco de Antecedentes.....	15
2.2 Marco Teórico.....	16
2.3 Marco normativo.....	18
3. Metodología.....	20
3.1 Enfoque y alcance de la investigación	20
3.2 Población y muestra.....	22
3.2.1 Definición de la población	22
3.2.2 Cálculo y selección de la muestra.....	23
3.3 Instrumento(s).....	24
3.4 Descripción de procedimientos.....	25
3.4.1 Codificación de datos.....	27
4. Resultados.....	29
4.1 Evolución temporal y características generales de la producción científica.....	29
4.1.1 Producción científica anual.....	29

Innovación y sostenibilidad en torno al suero lácteo: una revisión
bibliográfica

4.1.2	Concentración de fuentes: Ley de Bradford	31
4.2	Actores, instituciones, países y patrones de productividad científica.....	33
4.2.1	Autores más relevantes	33
4.2.2	Productividad autoral: Ley de Lotka.....	35
4.2.3	Afiliaciones más relevantes	37
4.2.4	Producción por país.....	38
4.3	Documentos de impacto y líneas temáticas emergentes	39
4.3.1	Documentos más citados.....	39
4.3.2	Red de coocurrencia de palabras clave	42
5	Discusión	46
6.	Conclusiones.....	49
7.	Recomendaciones y futuros trabajos	52
	Referencias.....	55
	Anexos	60

Innovación y sostenibilidad en torno al suero lácteo: una revisión bibliográfica

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Indicadores generales de codificación bibliométrica del corpus documental analizado en Biblioshiny</i>	28
Tabla 2 <i>Principales autores del corpus</i>	34
Tabla 3 <i>Distribución de autores según la Ley de Lotka</i>	35
Tabla 4 <i>Principales países productores</i>	38
Tabla 5 <i>Documentos más citados del corpus</i>	39

Innovación y sostenibilidad en torno al suero lácteo: una revisión bibliográfica

Lista de figuras

Figura 1 <i>Diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección de artículos</i>	25
Figura 2. <i>Producción científica anual sobre valorización del suero lácteo (2016–2026)</i>	31
Figura 3. <i>Distribución de fuentes según la Ley de Bradford</i>	32
Figura 4. <i>Fuentes más relevantes del campo</i>	33
Figura 5 <i>Autores más relevantes según número de publicaciones</i>	34
Figura 6 <i>Distribución de autores según la Ley de Lotka</i>	35
Figura 7 <i>Afiliaciones institucionales más relevantes</i>	37
Figura 8 <i>Producción científica por país</i>	38
Figura 9 <i>Red de coocurrencia de palabras clave (Co-word network)</i>	45

Innovación y sostenibilidad en torno al suero lácteo: una revisión
bibliográfica

Lista de anexos

Anexo 1 *Matriz bibliográfica del corpus documental analizado* 60

Innovación y sostenibilidad en torno al suero lácteo: una revisión bibliográfica

Resumen

La presente investigación analiza la producción científica sobre innovación y sostenibilidad asociada al aprovechamiento del suero lácteo en la industria alimentaria, mediante una revisión bibliográfica con enfoque bibliométrico de documentos indexados en Scopus durante el periodo 2016–2026. El estudio se orientó a identificar la evolución temporal de las publicaciones, las fuentes, autores, países e instituciones más relevantes, así como las líneas temáticas y tendencias emergentes del campo. Para ello, se aplicó una estrategia de búsqueda estructurada con operadores booleanos, se depuró el corpus documental mediante criterios de inclusión y exclusión, y se procesaron los metadatos en Bibliometrix/Biblioshiny. Los resultados evidencian un crecimiento sostenido de la producción científica, especialmente desde 2021, con una tasa de crecimiento anual de 19,62 %, una alta participación colaborativa y una agenda temática centrada en fermentación, valorización, proteínas, alimentos funcionales, economía circular y gestión de residuos. Se concluye que el lactosuero ha dejado de ser interpretado únicamente como un residuo contaminante para configurarse como una materia prima estratégica en procesos de innovación agroindustrial, biorrefinería, desarrollo de bioproductos y sostenibilidad alimentaria.

Palabras clave: gestión de proyectos; suero lácteo; valorización; sostenibilidad; bibliometría;.

Innovación y sostenibilidad en torno al suero lácteo: una revisión bibliográfica

Abstract

This research analyzes scientific production on innovation and sustainability related to whey valorization in the food industry through a bibliographic review with a bibliometric approach of documents indexed in Scopus during the period 2016–2026. The study aimed to identify the temporal evolution of publications, the most relevant sources, authors, countries and institutions, as well as the main thematic lines and emerging trends in the field. A structured search strategy using Boolean operators was applied, the documentary corpus was refined through inclusion and exclusion criteria, and metadata were processed using Bibliometrix/Biblioshiny. The results show sustained growth in scientific production, especially since 2021, with an annual growth rate of 19.62%, strong collaborative participation and a thematic agenda focused on fermentation, valorization, proteins, functional foods, circular economy and waste management. The study concludes that whey is no longer understood only as a polluting by-product, but as a strategic raw material for agro-industrial innovation, biorefinery processes, bioproduct development and sustainable food systems.

Keywords: project management; whey; valorization; sustainability; bibliometrics.

Introducción

La industria láctea es uno de los pilares fundamentales de la economía agroalimentaria mundial y nacional. En la transformación de la leche a quesos, surge un subproducto voluminoso y altamente contaminante: el suero lácteo, que representa entre el 80 % y el 90 % de la leche procesada (Rejdlová et al., 2025; Uribarrena et al., 2024).

Históricamente, este subproducto ha sido tratado como un residuo de difícil manejo. Su disposición inadecuada genera altos niveles de demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), contribuyendo a la contaminación de cuerpos de agua, afectando ecosistemas y generando riesgos en salud pública (Pires et al., 2021).

No obstante, investigaciones recientes lo reconocen como un insumo de alto valor nutricional y funcional, con aplicaciones en bebidas fermentadas, suplementos nutricionales, bioenergía, bioplásticos y compuestos bioactivos (Besediuk et al., 2024)

Las investigaciones acerca del suero lácteo implican enfoques metodológicos sólidos que no solo evalúen el impacto ambiental, sino que también explore su potencial como un recurso útil. Para lograrlo, se pueden emplear distintos enfoques de investigación, como el cuantitativo, el cualitativo y el mixto, cada uno con sus propias ventajas y aplicaciones en el estudio del suero lácteo. El enfoque cuantitativo se centra en analizar datos numéricos relacionados con la producción de suero, como los niveles de DBO/DQO, la eficiencia de los procesos de valorización y otros indicadores. Este método proporciona resultados precisos y objetivos, como el desempeño de tecnologías para su aprovechamiento o los efectos ambientales de su disposición sin tratamiento. Técnicas estadísticas avanzadas, como análisis de regresión o modelos predictivos, son clave para evaluar la viabilidad de nuevas tecnologías aplicadas al suero lácteo.

Por su parte, el enfoque cualitativo explora las percepciones de los actores involucrados, como productores, comunidades y consumidores. A través de herramientas como entrevistas, grupos focales y análisis de contenido, este enfoque permite identificar los factores socioculturales y económicos que influyen en la adopción de tecnologías de valorización, así como los desafíos y obstáculos que enfrentan las empresas lácteas, especialmente las de menor escala.

Finalmente, los enfoques mixtos integran elementos cuantitativos y cualitativos para ofrecer un análisis más completo. Por ejemplo, una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), complementada con análisis cuantitativos y bibliométricos, podría proporcionar una visión global de la producción científica sobre el suero lácteo, detectando lagunas de conocimiento, tendencias de investigación y oportunidades para implementar tecnologías que promuevan su uso sostenible. Estos enfoques mixtos facilitan la generación de recomendaciones prácticas para los sectores relacionados con la producción y manejo del suero, impulsando la innovación tecnológica y apoyando el desarrollo económico en zonas rurales.

1. Planteamiento Del Problema

1.1 Descripción del problema

El suero lácteo constituye una de las problemáticas más significativas en la industria láctea contemporánea. A nivel global se producen más de 10 mil millones de toneladas anuales, de las cuales apenas el 50 % es procesado; el resto se vierte en aguas residuales sin un tratamiento adecuado (Besediuk et al., 2024; Innocente-Alves et al., 2025)

El suero de queso, un subproducto generado durante la producción de queso tras la coagulación de la leche es frecuentemente descartado. Por ejemplo, en Brasil, un estudio entre industrias lácteas indicó que el 27 % de estas desechan el suero (aproximadamente 4208 mil litros al mes) en sistemas de tratamiento de efluentes o lo destinan a la alimentación animal (Trindade et al., 2019). Dado su elevado contenido orgánico, principalmente por componentes como la lactosa, su eliminación inadecuada representa un riesgo ambiental significativo, lo que ha generado creciente preocupación. Como resultado, la industria láctea ha explorado opciones sostenibles y económicamente viables para aprovechar este subproducto. En los últimos años, el suero ha ganado relevancia por su alto valor nutricional, siendo ampliamente utilizado como suplemento proteico, especialmente entre deportistas (Pontonio et al., 2021)

En Colombia, las pequeñas y medianas queseras enfrentan un reto mayor: la carencia de infraestructura tecnológica para la gestión del suero, lo que se traduce en altos niveles de contaminación hídrica que superan hasta 100 veces la carga orgánica de las aguas domésticas (Rejdlová et al., 2025)

Al mismo tiempo, el suero contiene proteínas de alto valor biológico, lactosa, vitaminas y minerales, lo que lo convierte en un recurso estratégico para la economía circular. Estudios han demostrado que puede transformarse en bebidas funcionales, probióticos, suplementos deportivos y compuestos bioactivos (Pires et al., 2021)

En este sentido, una línea de investigación valiosa sería realizar una Revisión Sistemática de la Literatura (SLR) apoyada en análisis cuantitativos y bibliométricos, con el fin de identificar tendencias globales, autores líderes y vacíos de investigación que orienten el aprovechamiento sostenible del suero lácteo.

1.2 La pregunta de investigación

¿Cómo se ha configurado la producción científica sobre innovación y sostenibilidad asociada al aprovechamiento del suero lácteo en la industria alimentaria, según la literatura indexada en Scopus durante el periodo 2016–2026?

1.3 Los objetivos de investigación.

1.3.1 *Objetivo general*

Analizar la producción científica sobre innovación y sostenibilidad asociada al aprovechamiento del suero lácteo en la industria alimentaria, mediante una revisión bibliográfica con enfoque bibliométrico de la literatura indexada en Scopus durante el periodo 2016–2026.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Identificar la evolución temporal y las principales características de la producción científica sobre el aprovechamiento del suero lácteo en la industria alimentaria.
- Reconocer los autores, afiliaciones, países y fuentes más relevantes en el desarrollo de este campo de investigación.
- Examinar las principales líneas temáticas, relaciones conceptuales y tendencias emergentes presentes en la literatura científica sobre innovación y sostenibilidad vinculada al suero lácteo.

1.4 Justificación de la investigación

El aprovechamiento sostenible del lactosuero representa uno de los mayores retos y oportunidades para la industria láctea contemporánea. Tradicionalmente, este subproducto —que constituye entre el 80 % y el 90 % del volumen de la leche procesada— ha sido considerado un residuo de difícil manejo y un agente contaminante de alto impacto ambiental debido a su elevada carga orgánica y su contribución a la demanda biológica y química de oxígeno (DBO y DQO) en fuentes hídricas (Pires et al., 2021).

Sin embargo, estudios recientes demuestran que el lactosuero conserva más del 55 % del valor nutricional de la leche, conteniendo proteínas de alto valor biológico, lactosa, vitaminas y

minerales, lo que lo convierte en un recurso estratégico para la economía circular y la bioeconomía (Rocha-Mendoza et al., 2021; Zambrano et al., 2021). Su potencial de valorización abarca la elaboración de bebidas funcionales, biopolímeros, biogás, fertilizantes y bioproductos con aplicación en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica (Besediuk et al., 2024).

Desde una perspectiva académica y científica, este estudio se justifica porque contribuye a la consolidación de un modelo de gestión integral del lactosuero, articulando los enfoques técnico-productivo, ambiental y económico bajo los principios de sostenibilidad. A nivel social, su aprovechamiento implica una oportunidad de fortalecimiento de la agroindustria local, especialmente para las pequeñas y medianas queseras que carecen de infraestructura tecnológica adecuada. De este modo, la investigación aporta conocimiento aplicable para reducir la contaminación, optimizar los recursos y generar valor agregado dentro de las cadenas lácteas rurales.

La revisión sistemática y el análisis bibliométrico permitirán identificar las principales líneas de desarrollo, las tecnologías más empleadas, las redes de investigación consolidadas y los vacíos de conocimiento que aún persisten, contribuyendo a orientar futuras políticas públicas, estrategias industriales y proyectos de innovación orientados a la sostenibilidad del sector.

2. Marco de referencia

2.1 Marco de Antecedentes

A nivel internacional, la valorización del lactosuero ha sido objeto de diversas investigaciones en los últimos años. Zambrano et al., (2021) destacan que el lactosuero es el principal subproducto de la industria quesera, representando entre el 85 % y el 95 % del volumen total de leche utilizada y reteniendo más del 55 % de sus nutrientes. Su eliminación inadecuada genera contaminación de cuerpos de agua y pérdidas económicas para los productores. La revisión bibliográfica de estos autores identifica que las principales alternativas de aprovechamiento se enfocan en la alimentación animal, la elaboración de bebidas fermentadas, la obtención de biogás, bioplásticos y ácido láctico, además de aplicaciones en la industria biomédica.

Pires et al. (2021) y Rocha-Mendoza et al. (2021) coinciden en que, pese a la diversidad de aplicaciones, gran parte del lactosuero aún se desecha, sobre todo en pequeñas plantas artesanales con limitada capacidad tecnológica. Este manejo deficiente provoca impactos ambientales considerables por su alta biodegradabilidad y bajo pH. En contraste, la literatura reporta avances importantes en bioprocesos para convertir el suero en materia prima para la producción de proteínas, polisacáridos y metabolitos de alto valor.

Prazeres et al., (2012) Panghal et al., (2018) estiman que por cada kilogramo de queso producido se generan entre 9 y 10 litros de suero, lo que equivale a más de 180 millones de toneladas anuales a nivel mundial. La valorización del lactosuero mediante tecnologías biotecnológicas como la digestión anaeróbica, la producción de bioetanol, la codigestión con vinaza o el cultivo de microorganismos representa una estrategia efectiva para reducir su impacto ambiental y aprovechar su composición rica en materia orgánica y nutrientes (Hashemi et al., 2023; Lovato et al., 2019).

Caicedo et al., (2018) demostraron que en la alimentación de cerdos de las razas Landrace, Duroc y Pietrain es viable sustituir parcialmente el maíz por un ensilado elaborado con tubérculos de taro y suero de leche, sin que ello afecte el desempeño productivo de los animales. En su estudio evaluaron variables como el consumo diario de alimento, la ganancia de peso, la conversión alimenticia y el peso final durante las etapas de crecimiento (42 días) y engorde (43 a 84 días).

En otro trabajo, Caicedo et al., (2020) combinaron lactosuero con material secante, melaza y urea con el propósito de mejorar la composición nutricional del raquis de plátano y banano, obteniendo un alimento con alto valor nutritivo para uso pecuario. Por su parte, Borrero et al., (2017) desarrollaron un ensilado a base de mango y lactosuero orientado a mitigar los efectos negativos de los periodos de sequía sobre la producción bovina, observando que la mezcla de ambos insumos incrementó el contenido proteico de la dieta y mejoró la calidad de la leche producida.

Caicedo et al., (2019) también evaluaron la incorporación de yogur natural, lactosuero y melaza en ensilajes líquidos de chontaduro, concluyendo que las características fisicoquímicas, biológicas y sensoriales obtenidas fueron adecuadas para su empleo como alimento animal.

Asimismo, González-Torres et al., (2021) identificaron mejoras en los chorizos producidos con carne de cerdos alimentados con dietas que incluían lactosuero, atribuyendo este resultado a la reducción de ácido linoleico y a un mejor perfil lipídico. Finalmente, Quiroga et al., (2017) plantearon la inclusión del lactosuero en la dieta de pollos de engorde durante la fase inicial, registrando efectos positivos en la productividad de las aves.

En el contexto latinoamericano, estudios como los de Capdevila et al., (2020) y Zapata et al., (2019) demuestran la factibilidad del uso del lactosuero para obtener biocombustibles, ácido láctico y biomasa microbiana, mientras que en Colombia y Ecuador las investigaciones se concentran en el desarrollo de bebidas funcionales y probióticas a partir de este subproducto.

2.2 Marco Teórico

El aprovechamiento del lactosuero ha evolucionado de un problema ambiental a una oportunidad estratégica dentro del marco de la bioeconomía y la sostenibilidad alimentaria. El artículo de Zandona et al., (2021), publicado en *Food Technology and Biotechnology*, plantea una revisión profunda sobre los usos sostenibles del suero lácteo, su relevancia económica y su impacto ambiental. Los autores destacan que el suero representa entre el 85 % y el 90 % del volumen total de la leche procesada y conserva cerca del 55 % de los nutrientes originales, entre los cuales se incluyen proteínas solubles, lactosa, vitaminas del complejo B y minerales esenciales como calcio, fósforo, potasio y magnesio. Esta composición lo convierte en un insumo de alto potencial biotecnológico, capaz de ser transformado en productos de valor agregado bajo esquemas de aprovechamiento integral.

Desde una perspectiva tecnológica, el suero lácteo se ha consolidado como una materia prima multifuncional que puede ser procesada a través de rutas físicas, químicas y biológicas para obtener derivados con diferentes finalidades. Entre las estrategias de valorización más destacadas se encuentra la producción de polvos y concentrados proteicos del suero (WPC y WPI), ampliamente empleados en la industria alimentaria, farmacéutica y deportiva por su alto valor nutricional y funcionalidad. Este proceso involucra etapas de clarificación, separación de grasa, ultrafiltración y secado por aspersion, permitiendo obtener un producto estable, concentrado y de larga vida útil (Zandona et al., 2021).

Otro campo de gran relevancia es el desarrollo de bebidas funcionales y alimentos fermentados a base de suero, los cuales constituyen una alternativa económica para pequeñas y medianas industrias lácteas. Sin embargo, su elaboración implica retos técnicos relacionados con la estabilidad térmica de las proteínas, ya que tratamientos superiores a 60 °C pueden provocar su desnaturalización. Por ello, se han introducido tecnologías no térmicas, como el ultrasonido, la alta presión hidrostática o el uso de dióxido de carbono supercrítico, que preservan las propiedades bioactivas del suero y mejoran la calidad sensorial del producto final. Estas innovaciones tecnológicas reflejan el enfoque contemporáneo de sostenibilidad aplicado a la industria alimentaria.

En el ámbito biotecnológico, el lactosuero se utiliza cada vez más como sustrato en procesos fermentativos para la obtención de compuestos de alto valor, entre los que se destacan el ácido láctico, el bioetanol, los biogases y los biopolímeros. El ácido láctico, en particular, posee una amplia gama de aplicaciones industriales, desde la producción de bioplásticos hasta aditivos alimentarios. Según Zandona et al. (2021), la fermentación del suero, previamente tratado para reducir proteínas e incrementar la concentración de lactosa, constituye una alternativa eficiente y ambientalmente viable para sustituir materias primas costosas en la generación de bioproductos.

La transformación del suero en energía renovable, mediante digestión anaerobia, es otra vía de valorización que contribuye a la reducción de emisiones y al cierre de ciclos en las plantas agroindustriales. Este proceso, además de generar biogás, disminuye la carga orgánica del efluente, mitigando su impacto sobre los ecosistemas acuáticos. En este contexto, el concepto de biorrefinería láctea surge como un paradigma central en la gestión moderna del lactosuero. Este modelo integra diferentes procesos de valorización energética, alimentaria y biotecnológica

dentro de un sistema circular, donde cada flujo residual es convertido en un insumo útil para otra etapa del proceso productivo.

El marco conceptual de la investigación se apoya en los principios de la economía circular y la bioeconomía sostenible, que promueven el uso racional de los recursos y la minimización de residuos mediante innovación tecnológica. Bajo este enfoque, el lactosuero deja de considerarse un desecho industrial para ser reconocido como un recurso estratégico que puede alimentar nuevas cadenas de valor. Este cambio de paradigma implica también una visión integral de la sostenibilidad, donde convergen dimensiones ambientales, sociales y económicas.

De acuerdo con Zandona et al. (2021), la sostenibilidad del aprovechamiento del suero no solo depende de la eficiencia técnica de los procesos, sino también de la evaluación de sus impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. Por esta razón, los autores sugieren incorporar metodologías de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) para medir indicadores como la huella de carbono, el uso energético, la eutrofización y el consumo de agua. Estas herramientas permiten comparar distintas rutas de valorización y seleccionar las más sostenibles desde una perspectiva integral.

Finalmente, la investigación sobre el lactosuero se fundamenta en teorías relacionadas con la gestión sostenible de residuos agroindustriales y la innovación tecnológica aplicada al sector alimentario. Un marco teórico sólido integra la evidencia empírica y los modelos conceptuales que explican cómo un residuo agroindustrial puede convertirse en un insumo de alto valor mediante procesos científicos y tecnológicos. En este sentido, el aprovechamiento del lactosuero representa un ejemplo paradigmático de cómo la ciencia aplicada, la gestión ambiental y la economía circular pueden articularse para impulsar la competitividad y sostenibilidad de la industria láctea global.

2.3 Marco normativo

El marco normativo que regula el manejo y aprovechamiento del lactosuero en Colombia se sustenta principalmente en disposiciones sanitarias, ambientales y de propiedad industrial. En materia sanitaria, el Decreto 3075 de 1997 del Ministerio de Salud establece las condiciones higiénicas y de operación que deben cumplir las fábricas y establecimientos de procesamiento de alimentos. Asimismo, la Ley 9 de 1979 fija los principios generales de salubridad pública, y el Decreto 616 de 2006 reglamenta los requisitos técnicos que debe cumplir

la leche y sus derivados para consumo humano. El Decreto 4444 de 2005 y las disposiciones del INVIMA regulan los registros y permisos sanitarios exigidos para productos derivados del lactosuero destinados a la comercialización.

Desde el punto de vista ambiental, el Decreto 1076 de 2015 (compilatorio del sector ambiente) y la Ley 99 de 1993 establecen los instrumentos para la gestión ambiental y el control de vertimientos. En este sentido, el aprovechamiento del lactosuero debe incluir estrategias de tratamiento de efluentes y manejo de residuos líquidos conforme a las guías ambientales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. En cuanto a la propiedad industrial, la Decisión 486 de 2000 de la Comunidad Andina regula la protección de invenciones y signos distintivos, lo cual resulta relevante para el registro de patentes y marcas relacionadas con nuevos productos derivados del suero.

3. Metodología

3.1 Enfoque y alcance de la investigación

El alcance de la presente investigación se define en torno a los límites temporales, espaciales y temáticos establecidos con el propósito de analizar de manera integral la evolución científica y tecnológica del aprovechamiento y valorización del lactosuero como residuo agroindustrial en el marco de la economía circular y el desarrollo sostenible. Este residuo, tradicionalmente considerado un desecho de difícil manejo ambiental, ha adquirido en las últimas dos décadas una relevancia significativa dentro de los procesos de innovación agroindustrial, al convertirse en una materia prima potencial para la obtención de productos de alto valor agregado y energía renovable.

Desde el punto de vista temporal, la investigación abarca el periodo comprendido entre los años 2002 y 2026, lapso que permite identificar las transformaciones conceptuales y tecnológicas que han orientado la transición desde los modelos convencionales de gestión de residuos hacia esquemas de producción sostenible y circularidad industrial. El inicio del periodo seleccionado coincide con el fortalecimiento de las políticas internacionales de mitigación del cambio climático, particularmente con la entrada en vigor del Protocolo de Kioto (2002), y se extiende hasta el año 2026, horizonte temporal que se asocia con las proyecciones establecidas por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura). Este intervalo temporal resulta idóneo para evidenciar la evolución de la producción científica sobre el manejo del lactosuero, sus aplicaciones energéticas, biotecnológicas y alimentarias, así como el desarrollo de estrategias de gestión ambiental asociadas.

En el ámbito espacial, el estudio adopta una perspectiva global con énfasis regional en América Latina y Colombia, dado que la industria láctea es uno de los sectores con mayor impacto ambiental en la región y, al mismo tiempo, una fuente relevante de oportunidades para la innovación. Colombia, en particular, cuenta con una amplia red de pequeños y medianos productores que generan volúmenes considerables de lactosuero sin un destino de aprovechamiento eficiente. Este contexto convierte al país en un escenario estratégico para la implementación de modelos de bioeconomía rural, donde el residuo puede transformarse en biogás, bioetanol, ácido láctico, biopolímeros o alimentos funcionales, contribuyendo a la

diversificación productiva, la reducción de emisiones y la mejora de la competitividad del sector agroindustrial.

La investigación, por tanto, no se limita al análisis técnico del residuo, sino que incorpora una visión sistémica e interdisciplinaria, considerando las dimensiones económica, ambiental, tecnológica y social del aprovechamiento del lactosuero. En este sentido, el alcance temático abarca cinco ejes de estudio principales: (i) la producción de bioenergía mediante digestión anaerobia y generación de biogás como alternativa a los combustibles fósiles; (ii) la biorrefinería y fermentación orientada a la obtención de compuestos de alto valor como el ácido láctico, bioetanol, bioplásticos y otros metabolitos; (iii) el desarrollo de alimentos funcionales a partir de proteínas y péptidos bioactivos del suero, con aplicaciones en nutrición y salud pública; (iv) la gestión ambiental a través de tecnologías limpias y evaluaciones de ciclo de vida (LCA/ACV) que reduzcan la carga contaminante del vertimiento del suero en cuerpos hídricos; y (v) el uso del lactosuero en alimentación animal, aprovechando su contenido energético y proteico para sustituir parcialmente otros insumos de mayor costo ambiental.

Además de estas rutas tecnológicas, el estudio se enmarca en un contexto de análisis cuantitativo que permite identificar los patrones de producción científica, las redes de colaboración entre instituciones, las áreas de mayor desarrollo y los países con mayor liderazgo en investigación sobre el tema. Este enfoque, inspirado en los trabajos de (Hernandez-Palma et al., 2024; Pérez et al., 2025), busca determinar las tendencias emergentes en torno al concepto de sostenibilidad industrial, identificando cómo los avances en la Industria 4.0, la digitalización de procesos y la gestión inteligente de la información han impulsado el desarrollo de soluciones innovadoras para la gestión de residuos agroindustriales.

La relevancia del estudio se justifica en varios planos. En primer lugar, desde una perspectiva ambiental, el lactosuero representa uno de los residuos líquidos con mayor potencial de contaminación debido a su alto contenido de materia orgánica y su elevada demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Su disposición inadecuada afecta ecosistemas acuáticos y contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. La valorización de este subproducto contribuye, por tanto, a la mitigación de los impactos ambientales y al cumplimiento de los compromisos internacionales de reducción de emisiones. En segundo lugar, desde un enfoque económico, el aprovechamiento del lactosuero ofrece oportunidades para la diversificación productiva y el fortalecimiento de la competitividad de las pequeñas y medianas industrias

lácteas, al convertir un residuo costoso en una fuente de ingresos o insumo energético. En tercer lugar, desde un ámbito social, la implementación de tecnologías sostenibles en el manejo del lactosuero puede generar empleos locales, fortalecer capacidades comunitarias y mejorar las condiciones de vida en territorios rurales, especialmente aquellos dependientes de la producción lechera.

En el plano académico y científico, la investigación se propone llenar vacíos de conocimiento sobre la dinámica global de la producción científica relacionada con la valorización del lactosuero. Se busca comprender cómo han evolucionado las líneas de investigación, cuáles son los enfoques metodológicos predominantes, qué actores lideran los desarrollos tecnológicos y qué retos persisten en la transferencia de conocimiento hacia los sistemas productivos reales. A través del análisis bibliométrico y cienciométrico, la investigación pretende construir una visión estructurada del campo, destacando las áreas temáticas consolidadas y las tendencias emergentes, así como las oportunidades de cooperación internacional.

Finalmente, este estudio tiene un alcance aplicativo y prospectivo, al proporcionar información útil para la formulación de políticas públicas, estrategias de innovación y modelos de gestión ambiental sostenibles en el sector agroindustrial. Los hallazgos derivados de la revisión sistemática permitirán orientar la toma de decisiones hacia prácticas productivas más responsables, alineadas con los principios de sostenibilidad ambiental, eficiencia energética y responsabilidad social empresarial. Así, el alcance de esta investigación no se limita a la descripción del estado del arte, sino que busca aportar elementos de análisis que fortalezcan la transición hacia una agroindustria circular, tecnológicamente avanzada y ambientalmente comprometida. Indique el enfoque de investigación que enmarca el proyecto de investigación, es decir cualitativo, cuantitativo o mixto.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Definición de la población

La población objeto de estudio estuvo conformada por la totalidad de registros científicos indexados en la base de datos Scopus relacionados con la valorización del suero lácteo en la industria alimentaria desde un enfoque de sostenibilidad. Este universo documental incluyó

artículos científicos y revisiones académicas que abordan el aprovechamiento del lactosuero, la economía circular, la innovación alimentaria y el uso de subproductos agroindustriales. La población se delimitó mediante una ecuación de búsqueda estructurada con operadores booleanos, lo que permitió recuperar la producción científica pertinente al objeto de investigación y construir un corpus documental coherente con el propósito del estudio.

3.2.2 *Cálculo y selección de la muestra*

La fase de recolección de información se desarrolló mediante una revisión bibliográfica estructurada en la base de datos Scopus, seleccionada por su amplitud temática, cobertura internacional y solidez para estudios de carácter bibliométrico. Para ello, se empleó una ecuación de búsqueda previamente delimitada en torno a las categorías conceptuales de suero lácteo, aprovechamiento o valorización, industria alimentaria y sostenibilidad, articuladas mediante operadores booleanos. Esta estrategia permitió construir un corpus documental coherente con el propósito analítico del estudio, evitando una recuperación excesivamente dispersa o ajena al problema de investigación.

La búsqueda se realizó en una base de datos académica de alta cobertura multidisciplinar, empleando la siguiente cadena booleana aplicada en los campos de título, resumen y palabras clave ("whey" OR "whey protein" OR "cheese whey" OR "whey dairy" OR "suero lacteo" OR "suero de leche") AND ("valorization" OR "valorisation" OR "utilization" OR "revalorization" OR "aprovechamiento") AND ("food industry" OR "food products" OR "alimentary industry" OR "industria alimentaria") AND ("sustainability" OR "circular economy" OR "bioeconomy" OR "sustainable")

La búsqueda inicial arrojó un total de 95 registros científicos. Posteriormente, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión con el fin de depurar la base documental y garantizar la pertinencia temática del análisis. Se estableció como criterio de inclusión el periodo comprendido entre 2016 y 2026, con el objetivo de capturar la producción científica reciente relacionada con el aprovechamiento del suero lácteo. Asimismo, se consideraron únicamente artículos científicos y revisiones indexadas en Scopus.

Como criterios de exclusión se definieron los documentos clasificados como conference paper, registros fuera del periodo temporal establecido y documentos no relacionados

directamente con la valorización del suero lácteo. Tras la aplicación de estos filtros, se excluyeron dos registros, consolidándose la muestra final del estudio.

En la fase de cribado, se utilizó la herramienta digital Rayyan para la identificación de posibles duplicados. No se detectaron registros duplicados dentro del corpus analizado, lo que permitió mantener la integridad del conjunto documental. Posteriormente, se aplicó el protocolo PRISMA para la selección final de los estudios, incluyendo las fases de identificación, cribado y elegibilidad. Este procedimiento permitió construir una muestra depurada que representa la estructura científica del campo de estudio.

3.3 Instrumento(s)

La recolección y tratamiento de la información se realizó mediante herramientas digitales especializadas en análisis bibliométrico. Como instrumento principal se utilizó la base de datos Scopus, mediante la aplicación de una ecuación de búsqueda estructurada que permitió recuperar los documentos científicos relacionados con la valorización del suero lácteo en la industria alimentaria. Los registros obtenidos fueron exportados con sus metadatos bibliográficos completos, incluyendo autores, año de publicación, palabras clave, afiliaciones institucionales y fuentes de publicación.

Posteriormente, se utilizó el software Rayyan para la depuración del corpus documental y la verificación de duplicados, permitiendo organizar la información y aplicar los criterios de inclusión y exclusión definidos en el estudio.

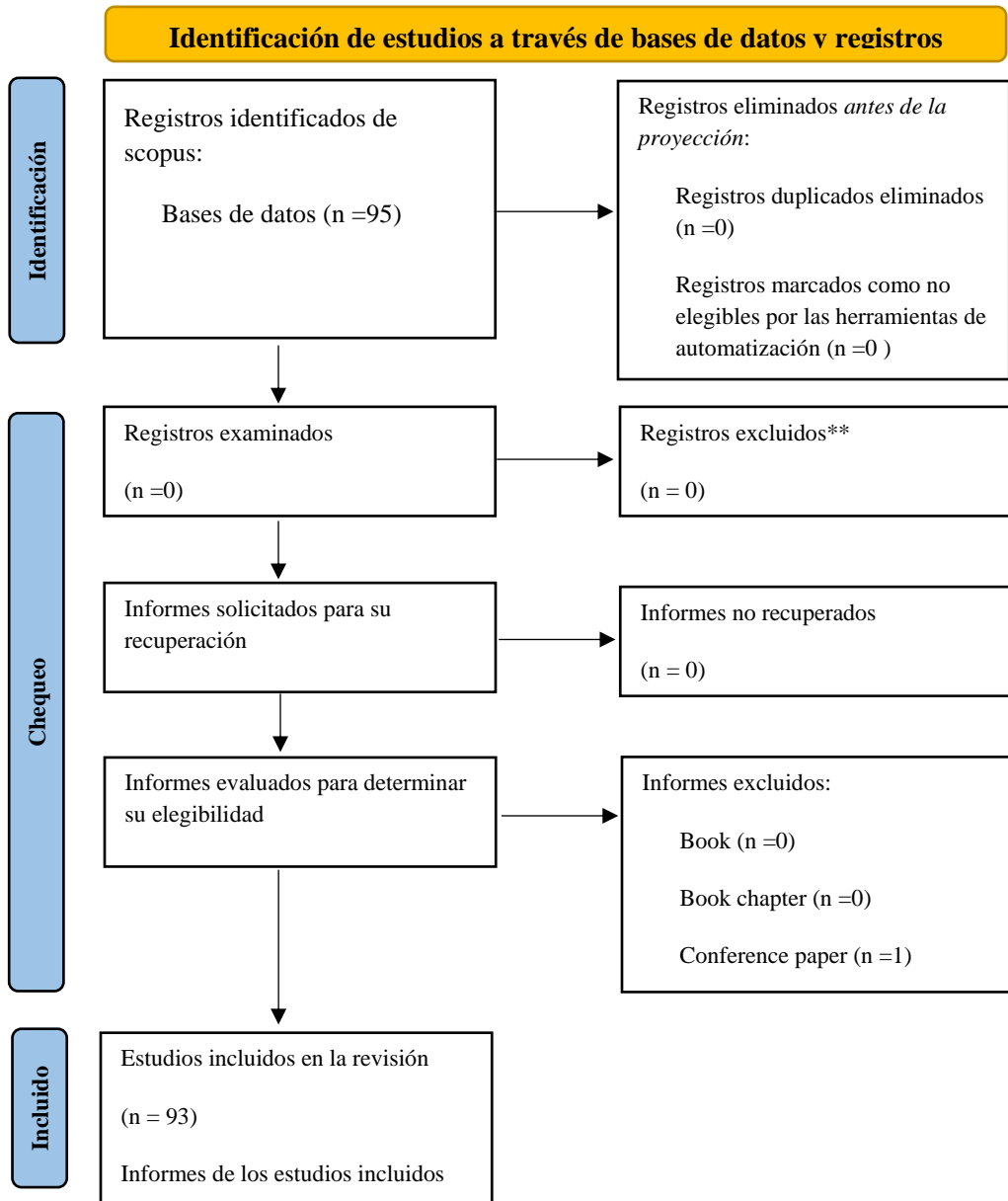
El análisis bibliométrico se desarrolló mediante el uso del software RStudio con el paquete Bibliometrix y su interfaz Biblioshiny. Estas herramientas permitieron realizar análisis descriptivos de la producción científica, identificar autores más productivos, evaluar la evolución temporal de publicaciones y analizar la coocurrencia de palabras clave. Adicionalmente, se generaron redes de colaboración científica y mapas temáticos que evidencian las tendencias de investigación predominantes.

El procesamiento de la información se desarrolló en cinco etapas y se evidencia en la figura 1: búsqueda y descarga de registros en Scopus, depuración de la base de datos, aplicación de criterios de selección, codificación de variables bibliográficas y análisis bibliométrico. Este procedimiento permitió transformar los registros documentales en una estructura analítica del conocimiento científico, donde la literatura recuperada se convierte en una cartografía intelectual

que revela la dinámica investigativa del aprovechamiento del suero lácteo en la industria alimentaria.

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección de artículos



3.4 Descripción de procedimientos

El procedimiento de recolección de información se desarrolló en un entorno completamente digital, dado que la presente investigación corresponde a una revisión

bibliográfica con enfoque bibliométrico y, por tanto, no implicó trabajo de campo ni interacción directa con población humana. En este marco, el levantamiento de los datos se realizó a partir de fuentes secundarias indexadas, utilizando como instrumentos y soportes metodológicos la base de datos Scopus, la herramienta Rayyan y el entorno RStudio, a través del paquete Bibliometrix y su interfaz Biblioshiny. Así, la investigación no descendió al terreno de la encuesta o la entrevista, sino que se internó en el archivo científico, donde cada documento operó como evidencia y cada metadato como huella del desarrollo del campo.

En una primera etapa se diseñó y aplicó la estrategia de búsqueda en la base de datos Scopus, empleando una ecuación estructurada con operadores booleanos y términos vinculados al suero lácteo, su valorización, la industria alimentaria y la sostenibilidad. Esta fase tuvo como propósito delimitar el universo documental y recuperar los registros pertinentes al objeto de estudio. La consulta se efectuó mediante acceso institucional o autorizado a la plataforma, lo que constituyó el requisito técnico indispensable para la obtención de la información. Una vez ejecutada la búsqueda, los resultados fueron exportados con sus respectivos metadatos bibliográficos, entre ellos autores, año de publicación, fuente, afiliaciones, países, palabras clave y número de citas.

En una segunda etapa se efectuó la depuración del corpus documental mediante la herramienta Rayyan. En esta fase se revisaron los registros recuperados, se verificó su pertinencia temática y se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión previamente definidos. El procedimiento se realizó a partir de la lectura de títulos, resúmenes, palabras clave y tipología documental, con el fin de separar lo central de lo accesorio y de construir una base de análisis metodológicamente consistente. Dado que la unidad de análisis estuvo conformada exclusivamente por documentos científicos ya publicados, no fue necesario gestionar consentimientos informados ni autorizaciones éticas relacionadas con participantes; no obstante, se mantuvieron criterios estrictos de integridad académica, trazabilidad del proceso y respeto por la propiedad intelectual de las fuentes utilizadas.

En una tercera etapa se desarrolló la codificación y organización de la información. Para ello, la base documental depurada fue importada al entorno RStudio, donde Bibliometrix y Biblioshiny permitieron transformar los registros bibliográficos en una estructura analítica susceptible de medición e interpretación. En esta fase se codificaron variables relacionadas con la producción anual, autores, afiliaciones institucionales, países, fuentes, citas y

coocurrencia de palabras clave. De este modo, el corpus dejó de ser una acumulación de textos aislados para convertirse en una matriz de relaciones, una suerte de plano metodológico desde el cual fue posible observar la forma, densidad y dirección del conocimiento científico construido en torno al tema.

Finalmente, en una cuarta etapa se llevó a cabo el análisis e interpretación de los resultados. A partir de las salidas generadas por Biblioshiny se elaboraron tablas, indicadores y visualizaciones orientadas a describir la dinámica del campo investigativo. Entre los análisis desarrollados se incluyeron la producción científica anual, la concentración de fuentes conforme a la Ley de Bradford, la productividad de autores según la Ley de Lotka, las afiliaciones más relevantes, la producción por país, los documentos más citados y la red de coocurrencia de palabras clave. Este conjunto de procedimientos se ejecutó de manera secuencial y lógica, de tal forma que cada etapa funcionó como un eslabón del siguiente: la búsqueda abrió el cauce, la depuración retiró el sedimento, la codificación ordenó la materia y el análisis permitió leer, en esa arquitectura de datos, la estructura intelectual del campo estudiado.

3.4.1 Codificación de datos

Una vez consolidado el corpus documental, se procedió a la fase de codificación y caracterización bibliográfica mediante el entorno RStudio, empleando el paquete Bibliometrix y su interfaz gráfica Biblioshiny. Esta etapa permitió transformar el conjunto de registros recuperados en una matriz estructurada de variables cuantificables, susceptible de análisis descriptivo y relacional. En otras palabras, la información dejó de ser un archivo inerte de documentos para convertirse en un sistema legible de signos, frecuencias y vínculos, capaz de revelar la densidad, expansión y configuración del conocimiento científico en torno a la valorización del suero lácteo.

A partir del procesamiento de los metadatos, Biblioshiny generó indicadores generales sobre el comportamiento del corpus, incluyendo el periodo de publicación, número de fuentes, volumen documental, crecimiento anual, edad promedio de los documentos, promedio de citas, número de autores, grado de colaboración y tipología documental, ver Tabla 1. Estos indicadores constituyen la base de la codificación bibliométrica, ya que permiten ordenar el universo analizado, reconocer sus patrones de producción y establecer la estructura inicial desde la cual se interpretan las dinámicas científicas del campo de estudio.

Tabla 1.

Indicadores generales de codificación bibliométrica del corpus documental analizado en Biblioshiny

Información principal sobre datos	
Timespan	2016:2026
Fuentes [Revistas, Libros, etc.]	72
Documentos	93
Tasa de crecimiento anual %	19,62
Edad promedio del documento	3,06
Citas promedio por documento	28,29
Referencias	0
Contenido del documento	
Palabras clave Plus [ID]	1120
Palabras clave del autor [DE]	397
AUTORES	
Autores	495
Autores de documentos de autor único	2
Colaboración de autores	
Documentos de autor único	2
Coautores por Doc	5,65
Coautorías internacionales %	31,18
Tipos de documentos	
Artículo	53
Libro	1
Capítulo de libro	9
Review	30

4. Resultados

4.1 Evolución temporal y características generales de la producción científica

Este subcapítulo responde al primer objetivo específico, orientado a identificar la evolución temporal y las principales características de la producción científica sobre el aprovechamiento del suero lácteo en la industria alimentaria. Para ello, el análisis se realizó mediante RStudio, el paquete Bibliometrix y la interfaz Biblioshiny, herramientas pertinentes para procesar metadatos bibliográficos extraídos de Scopus. Esta elección fue metodológicamente adecuada porque los datos no provienen de encuestas ni mediciones de campo, sino de registros documentales indexados.

El tratamiento de la información combinó análisis cuantitativo descriptivo y relacional. En el plano descriptivo se examinaron frecuencias de publicaciones por año, fuentes, autores, países y afiliaciones; en el plano relacional se aplicaron procedimientos bibliométricos como la Ley de Bradford, la Ley de Lotka y la red de coocurrencia de palabras clave. Así, el corpus fue interpretado como una cartografía científica que permite observar cuánto se ha investigado, desde dónde se produce el conocimiento y cuáles son sus ejes conceptuales.

Como punto de partida, Biblioshiny evidenció un corpus conformado por 93 documentos publicados entre 2016 y 2026, distribuidos en 72 fuentes, con una tasa de crecimiento anual del 19,62 %, una edad promedio de 3,06 años por documento y un promedio de 28,29 citas por publicación. Estos indicadores muestran un campo reciente, dinámico y articulado por redes de colaboración científica.

La organización del capítulo se articula directamente con los tres objetivos específicos: este primer apartado aborda la evolución temporal y las fuentes; el segundo examina autores, instituciones y países; y el tercero analiza documentos de impacto y líneas temáticas emergentes. De esta manera, las tablas y figuras se integran a una secuencia interpretativa y no aparecen como elementos aislados dentro del capítulo de resultados.

En este apartado se presentan los indicadores generales del corpus documental, la evolución anual de la producción científica y la concentración de fuentes, con el fin de atender el primer objetivo específico de la investigación.

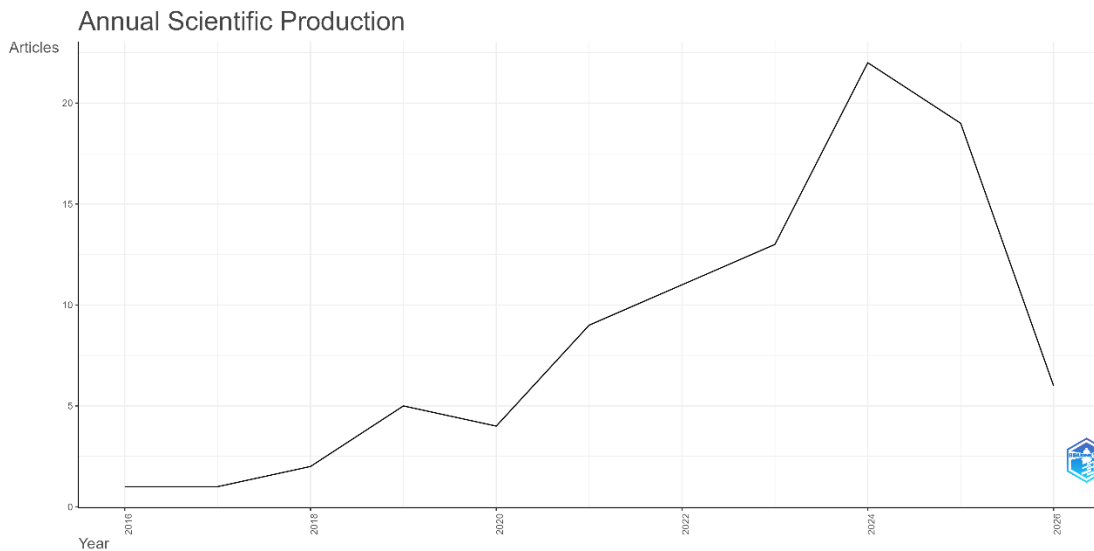
4.1.1 *Producción científica anual*

La producción científica anual muestra una trayectoria claramente ascendente (Figura 2). Durante la etapa inicial del periodo analizado, entre 2016 y 2018, la presencia del tema en la

literatura indexada fue incipiente, con 1 documento en 2016, 1 en 2017 y 2 en 2018. A partir de 2019, la curva comienza a tomar forma, con 5 publicaciones, seguida de una oscilación moderada en 2020 con 4 documentos. Sin embargo, el cambio más significativo ocurre desde 2021, cuando el campo adquiere un ritmo de expansión más sostenido: 9 publicaciones en 2021, 11 en 2022, 13 en 2023, 22 en 2024 y 19 en 2025.

El punto más alto de la serie corresponde al año 2024, con 22 documentos, lo que representa el mayor volumen de publicaciones dentro del corpus. Este ascenso no parece fortuito. Más bien, responde al contexto contemporáneo de la industria alimentaria, cada vez más orientada a la economía circular, al aprovechamiento de subproductos y al desarrollo de ingredientes funcionales. En ese escenario, el suero lácteo deja de ocupar los márgenes del proceso productivo y empieza a situarse en el centro del debate científico como una materia susceptible de transformación y valorización.

El registro de 2026, con 6 documentos, debe leerse con cautela, ya que corresponde a un año aún no concluido al momento de la recuperación de datos. Por ello, su menor frecuencia no sugiere un descenso del interés investigativo, sino una fotografía parcial de un periodo todavía en curso.

Figura 2.*Producción científica anual sobre valorización del suero lácteo (2016–2026)*

En conjunto, esta serie temporal permite sostener que la investigación sobre el aprovechamiento del suero lácteo ha transitado desde una fase inicial de exploración hacia una etapa de consolidación. El crecimiento de la producción científica funciona aquí como un sismógrafo del interés académico: registra la intensificación de un campo que ha ganado cuerpo, densidad y visibilidad en la última década.

4.1.2 Concentración de fuentes: Ley de Bradford

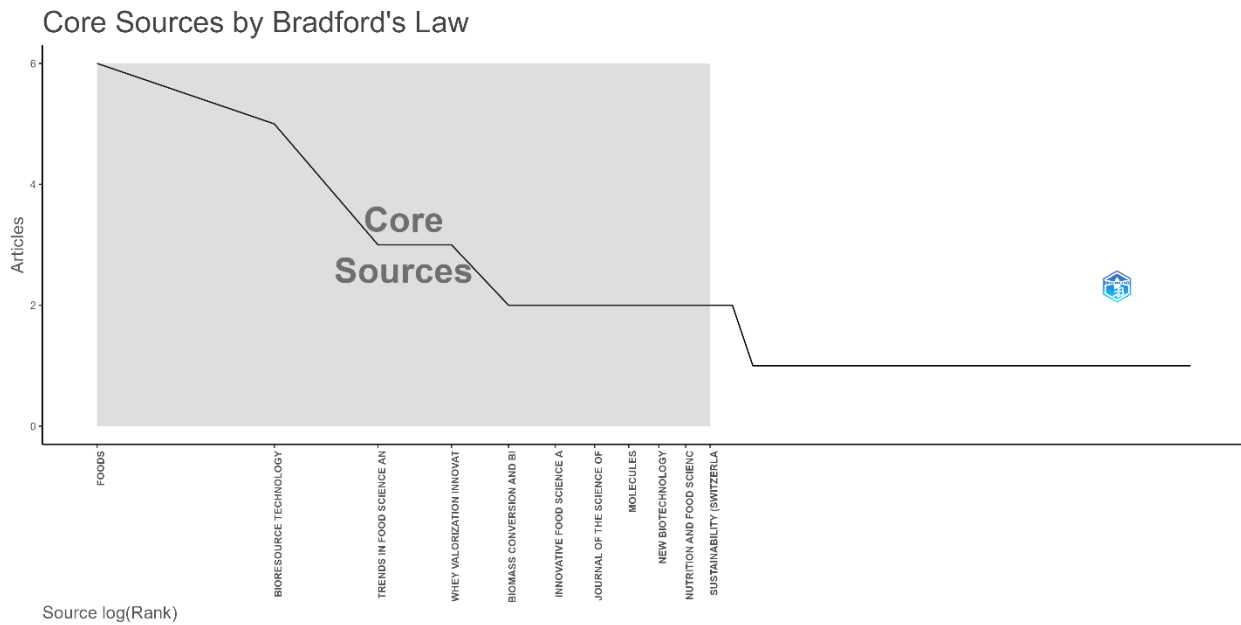
La aplicación de la Ley de Bradford permite identificar cómo se concentra la producción científica en un conjunto reducido de fuentes (Figura 3 y 4). Los resultados muestran una estructura escalonada en tres zonas. La Zona 1 reúne 11 fuentes que concentran 31 documentos; la Zona 2 agrupa 31 fuentes con 32 documentos; y la Zona 3 comprende 30 fuentes con 30 documentos.

Este patrón confirma que el campo posee un núcleo editorial claramente identificable, acompañado de una periferia amplia y más dispersa. En otros términos, una porción relevante de la producción circula por un conjunto relativamente pequeño de revistas y obras, mientras el resto se distribuye en fuentes más diversas. Este comportamiento es típico de campos en

expansión, donde algunos canales editoriales se consolidan como referentes, sin anular por ello la dispersión multidisciplinaria del tema.

Figura 3.

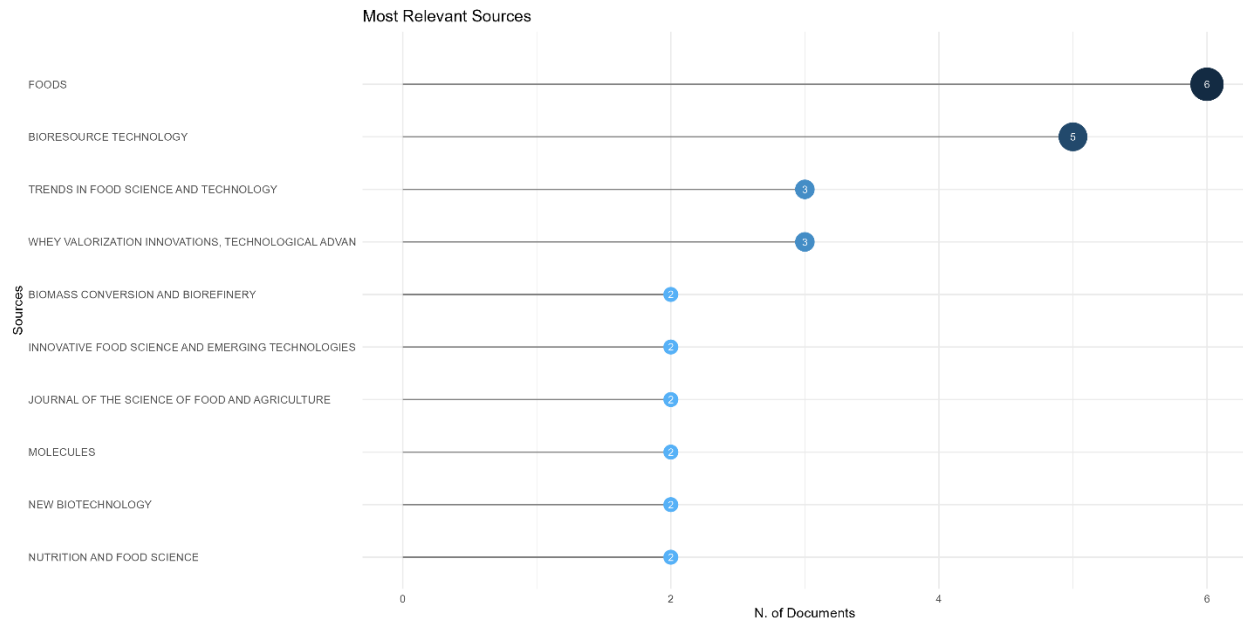
Distribución de fuentes según la Ley de Bradford



Dentro del núcleo de mayor concentración sobresalen Foods, con 6 documentos, y Bioresource Technology, con 5, seguidas por Trends in Food Science and Technology, con 3 publicaciones. También aparece con igual frecuencia la obra Whey Valorization Innovations, Technological Advancements and Sustainable Exploitation, lo cual revela que el interés por el tema no solo se expresa en revistas científicas, sino también en espacios editoriales especializados.

Figura 4.

Fuentes más relevantes del campo



Este resultado es relevante porque muestra que la literatura sobre suero lácteo no se dispersa de manera caótica. Posee centros de gravitación editorial, es decir, canales donde el conocimiento se concentra, se valida y se proyecta. A la vez, la presencia de numerosas fuentes con baja frecuencia refleja el carácter híbrido del campo, situado en la intersección entre ciencia de alimentos, biotecnología, sostenibilidad y aprovechamiento de residuos.

4.2 Actores, instituciones, países y patrones de productividad científica

Este apartado responde al segundo objetivo específico, mediante la identificación de los autores, afiliaciones institucionales, países y patrones de productividad científica que estructuran el campo de estudio

4.2.1 Autores más relevantes

El análisis de autores muestra una estructura productiva relativamente dispersa, aunque con un pequeño grupo de investigadores que destaca por su recurrencia (Figura 5 y Tabla 2). Los autores con mayor número de publicaciones fueron Kachrimanidou, Vasiliki, Kopsahelis,

Nikolaos y Papadaki, Aikaterini, cada uno con 5 documentos, seguidos por Lappa, Iliada, con 4 publicaciones.

Figura 5

Autores más relevantes según número de publicaciones

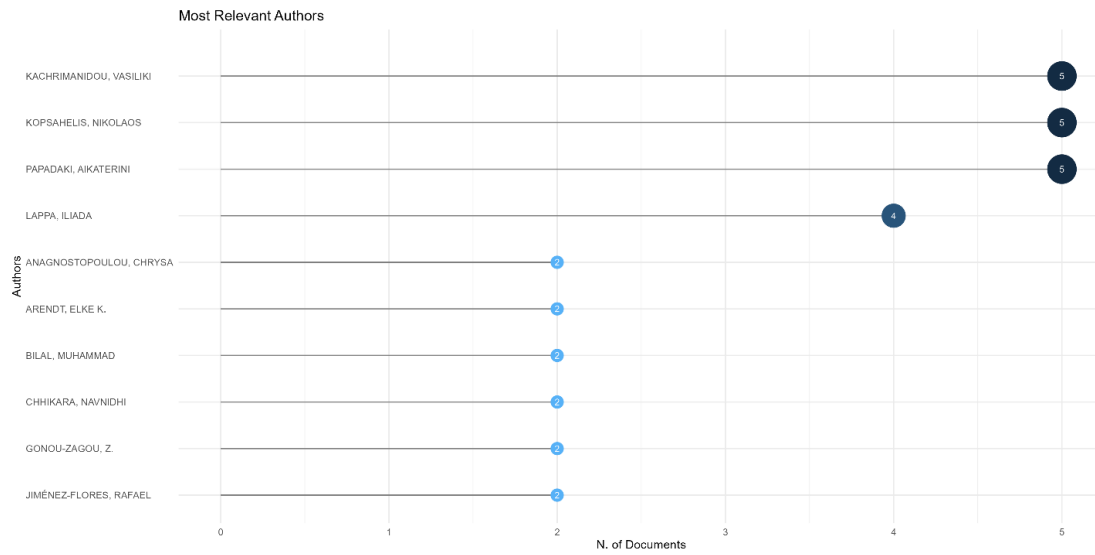


Tabla 2

Principales autores del corpus

Autor	Artículos	Artículos fraccionalizados
Kachrimanidou, Vasiliki	5	0,84
Kopsahelis, Nikolaos	5	0,84
Papadaki, Aikaterini	5	0,84
Lappa, Iliada	4	0,68

El valor de los artículos fraccionalizados introduce una precisión importante: aunque varios autores presentan cinco contribuciones, su producción se da en contextos de coautoría amplia. Esto indica que el liderazgo científico no descansa aquí en trayectorias aisladas, sino en redes colaborativas. En consecuencia, la relevancia autoral debe entenderse no solo como

volumen de publicaciones, sino como capacidad de articulación dentro de equipos de investigación.

4.2.2 Productividad autorial: Ley de Lotka

La Ley de Lotka muestra una fuerte concentración de la productividad en autores de baja participación (Figura 6 y Tabla 3). Del total analizado, 476 autores, equivalentes al 96,2 %, publicaron un solo documento. En contraste, 15 autores publicaron dos documentos, 1 autor registró cuatro documentos y 3 autores alcanzaron cinco publicaciones.

Figura 6

Distribución de autores según la Ley de Lotka

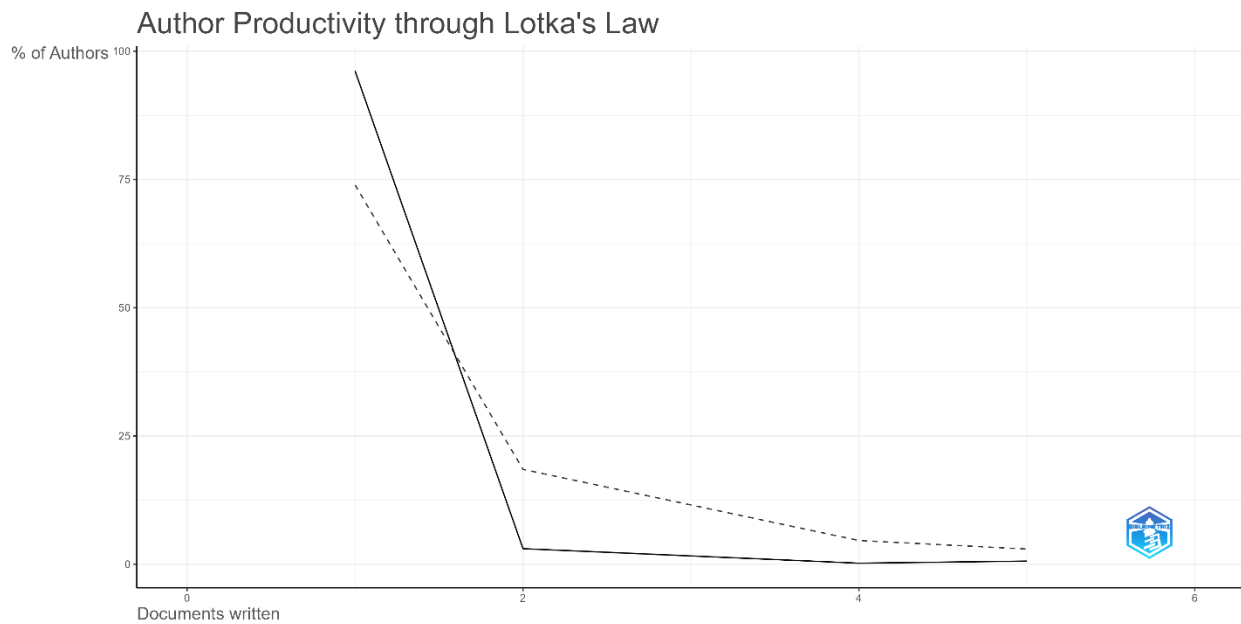


Tabla 3

Distribución de autores según la Ley de Lotka

Documentos escritos	N. de autores	Proporción de autores	Teórico
1	476	0,962	0,739
2	15	0,03	0,185
4	1	0,002	0,046
5	3	0,006	0,03

La tabla evidencia, en primer lugar, que el valor más alto se concentra en la categoría de un solo documento, donde la proporción observada (0,962) supera ampliamente la proporción teórica (0,739). Este desajuste indica que el campo presenta una participación autoral más dispersa de lo que Lotka propondría en una distribución más equilibrada. En otras palabras, hay muchos más autores ocasionales de los que cabría esperar bajo un patrón clásico de consolidación científica.

En segundo lugar, la categoría de dos documentos presenta una relación inversa: la proporción observada (0,030) es muy inferior a la teórica (0,185). Este contraste revela que pocos autores avanzan desde una contribución aislada hacia una presencia reiterada en el campo. La producción sostenida, por tanto, no constituye aún la regla, sino la excepción.

En tercer lugar, las categorías de cuatro y cinco publicaciones muestran una presencia mínima. Solo 1 autor alcanza cuatro trabajos y 3 autores llegan a cinco. Si bien esta franja es reducida, no deja de ser metodológicamente importante, porque allí se ubican los investigadores que comienzan a perfilarse como referentes del área. Su peso no radica solo en la cantidad, sino en el hecho de que representan una continuidad investigativa dentro de un escenario dominado por la dispersión.

En conjunto, la tabla sugiere que la estructura autoral del campo es todavía incipiente en términos de especialización sostenida, pero amplia en términos de interés académico. No se observa una comunidad cerrada de productores intensivos, sino un espacio abierto donde convergen múltiples aportes, aunque todavía con escasa repetición sistemática. Este patrón es coherente con áreas emergentes o transversales, donde el objeto de estudio atrae investigadores de distintos sectores disciplinares antes de consolidar una escuela autoral dominante.

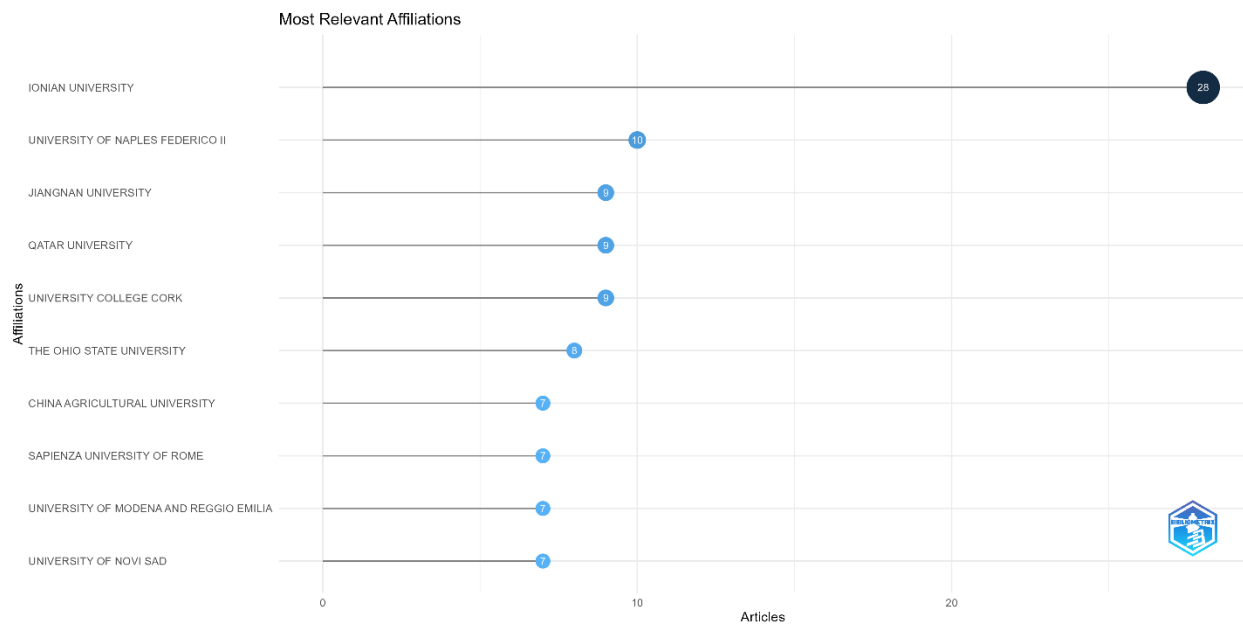
Este patrón sugiere que el campo sigue siendo un territorio abierto, con una amplia base de autores ocasionales y una cima reducida de investigadores persistentes. Más que una comunidad cerrada dominada por grandes firmas, se observa una superficie científica aún en expansión, donde muchos autores ingresan al debate, pero pocos sostienen una producción continuada. Ese comportamiento es característico de áreas emergentes o en consolidación, donde la frontera del conocimiento todavía convoca contribuciones diversas.

4.2.3 Afiliaciones más relevantes

En el plano institucional, la Ionian University ocupa un lugar claramente dominante con 28 documentos, seguida de University of Naples Federico II, con 10, y de Jiangnan University, Qatar University y University College Cork, cada una con 9 publicaciones (Figura 7).

Figura 7

Afiliaciones institucionales más relevantes



La concentración observada sugiere la existencia de polos institucionales que actúan como centros de irradiación del conocimiento. Estas universidades no solo publican más, sino que probablemente alojan grupos de investigación y agendas consolidadas sobre valorización del suero lácteo, bioprocesos y sostenibilidad alimentaria. En este sentido, las afiliaciones más relevantes permiten identificar dónde se están forjando buena parte de las capacidades científicas del campo.

4.2.4 Producción por país

El análisis por país muestra una geografía científica diversa, encabezada por India, con 59 apariciones, seguida por Grecia con 50, Italia con 49 y Estados Unidos con 40. También destacan China con 30, Brasil con 23, México con 22 y España con 20 (Figura 8 y Tabla 4).

Figura 8

Producción científica por país

Country Scientific Production

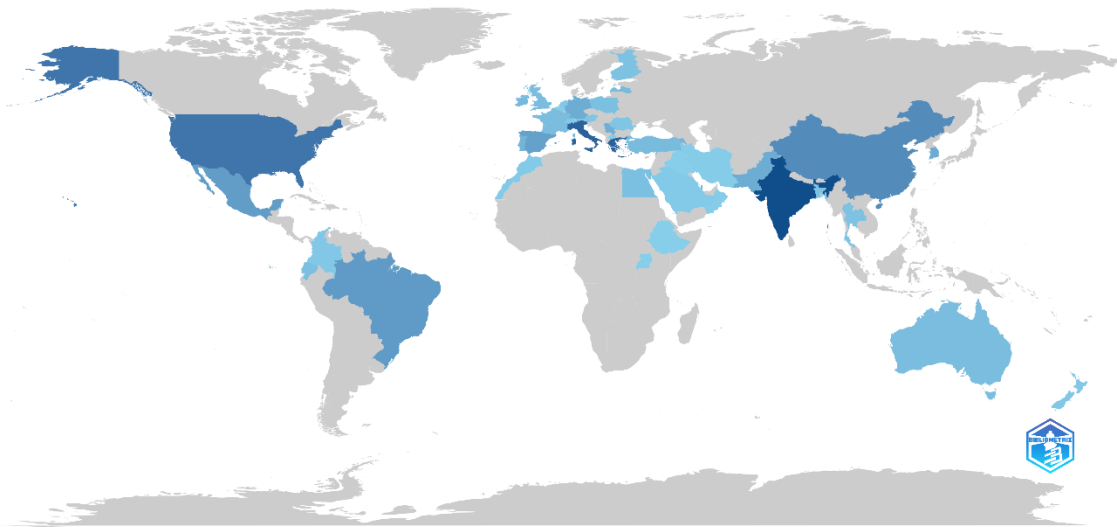


Tabla 4

Principales países productores

País	Frecuencia
India	59
Greece	50
Italy	49
USA	40
China	30
Brazil	23
Mexico	22
Spain	20

Estas frecuencias deben interpretarse con cuidado, ya que representan participaciones país-documento y no necesariamente documentos exclusivos por nación. Es decir, un mismo artículo puede contribuir al conteo de varios países cuando existe coautoría internacional. Aun así, el resultado es elocuente: la investigación sobre el suero lácteo no se concentra en una única región, sino que se distribuye entre Asia, Europa y América, lo que confirma el carácter transnacional del tema.

La relevancia de este hallazgo reside en que evidencia una preocupación compartida por la valorización de subproductos lácteos y su incorporación a modelos productivos más sostenibles. El problema es local en su origen industrial, pero global en su proyección científica.

4.3 Documentos de impacto y líneas temáticas emergentes

Este apartado responde al tercer objetivo específico, al examinar los documentos de mayor impacto y las líneas temáticas que estructuran la literatura científica sobre innovación y sostenibilidad asociada al suero lácteo.

4.3.1 Documentos más citados

Los documentos más citados constituyen la base de referencia sobre la cual se ha sostenido buena parte del desarrollo reciente del campo (Tabla 5). El trabajo con mayor impacto total fue Asgher M, 2020, Food Research International, con 589 citas y 84,14 citas por año, seguido por Ganesh Saratale R, 2021, Bioresource Technology, con 270 citas y 45 citas por año. En tercer lugar se ubicó Lappa IK, 2019, Foods, con 187 citas.

Tabla 5

Documentos más citados del corpus

Artículo	Doi	Total Citas
(Asgher et al., 2020)	10.1016/j.foodres.2020.109625	589
(Saratale et al., 2021)	10.1016/j.biortech.2021.124685	270
(Lappa et al., 2019)	10.3390/foods8080347	187
(Álvarez-Castillo et al., 2021)	10.3390/foods10050981	98
(H. Singh et al., 2022)	10.3390/en15030999	96

(Panghal et al., 2018)	10.1108/NFS-01-2018-0017	93
(Singh & Krishnaswamy, 2022)	10.1016/j.tifs.2022.08.015	91
(Usmani et al., 2022)	10.1016/j.biortech.2021.126444	89
(Reig et al., 2021)	10.3390/foods10112768	88
(Yazici & Ozer, 2021)	10.1016/j.tifs.2021.02.071	80
(Roos et al., 2016)	10.1007/s12393-015-9125-z	60
(Hadj Saadoun et al., 2020)	10.1002/jsfa.10397	54
(Shah et al., 2024)	10.1016/j.ijbiomac.2024.132354	45
(S. Costa et al., 2020)	10.3390/fermentation7010003	43
(Koller et al., 2017)	10.22037/afb.v4i2.16337	42
(Kachrimanidou, Alimpoumpa, et al., 2022)	10.1007/s13399-022-02767-9	38
(Costa et al., 2021)	10.3390/foods10010135	35
(Camacho et al., 2022)	10.1016/j.jclepro.2022.134026	32
(Fernandes et al., 2020)	10.1016/B978-0-12-817226-1.00007-2	32
(Ibarruri & Hernández, 2019)	10.1007/s00449-019-02127-4	27
(Costa et al., 2022)	10.1016/j.biortech.2022.127463	26
(Pernin et al., 2019)	10.1002/ejlt.201800462	25
(Poonia & Pandey, 2023)	10.1108/NFS-02-2022-0055	20
(Kachrimanidou, Papadaki, et al., 2022)	10.1007/s12010-021-03686-7	19

El análisis de los documentos más citados muestra que la literatura de mayor impacto no se limita a describir el suero lácteo como subproducto, sino que lo inserta en una agenda más amplia de valorización, sostenibilidad y transformación tecnológica. En esta línea, varios trabajos de alta citación construyen el marco conceptual desde el cual se entienden los materiales bio-basados, los biomateriales verdes y los empaques funcionales como alternativas a los sistemas convencionales. Allí se ubican aportes sobre empaques activos de base biológica, reutilización de proteínas de coproductos agroalimentarios, mejora de películas comestibles y recubrimientos funcionales, así como aplicaciones de películas de proteína de suero con

ingredientes prebióticos (Asgher et al., 2020; Álvarez-Castillo et al., 2021; Shah et al., 2024; Fernandes et al., 2020). En conjunto, estos estudios desplazan la atención desde la eliminación del residuo hacia su aprovechamiento en materiales con valor agregado, lo que fortalece la lectura del suero como recurso y no como descarte.

Un segundo bloque, más directamente conectado con el núcleo del tema, reúne trabajos que abordan el aprovechamiento del suero lácteo y de otros residuos lácteos desde enfoques de biorrefinería, bioprocesos y recuperación de compuestos de valor. En este grupo sobresalen las revisiones sobre valorización del suero, los conceptos de biorrefinería integrada, la valorización microbiana de residuos lácteos, el uso de membranas en la industria láctea y la recuperación de proteínas derivadas de pérdidas y subproductos lácteos (Panghal et al., 2018; Lappa et al., 2019; Usmani et al., 2022; Reig et al., 2021; Costa et al., 2021). A la vez, se incluyen trabajos más aplicados que muestran rutas concretas de transformación del whey, como la producción de ácido láctico a partir de residuos agroalimentarios, la obtención de biomasa fúngica mediante fermentación sumergida, la biosíntesis de poli(hidroxialcanoatos), la producción de resveratrol desde corrientes ricas en lactosa, la generación de pigmentos microbianos y el uso de *Trametes versicolor* para formular películas funcionales de proteína de suero (Costa et al., 2021; Ibaruri & Hernández, 2019; Koller et al., 2018; Costa et al., 2022; Poonia & Pandey, 2023; Papadaki et al., 2022). Esta constelación de estudios revela que el mayor impacto bibliográfico se concentra en trabajos que convierten el suero en plataforma tecnológica para obtener compuestos, materiales y procesos de mayor valor, lo que confirma la centralidad de la economía circular dentro del campo.

Un tercer conjunto de documentos amplía el horizonte de interpretación al situar la valorización del suero dentro de debates más generales sobre residuos orgánicos, bioenergía, bioplásticos y sistemas de procesamiento sin desperdicio. En este plano se encuentran revisiones sobre producción de PHA a partir de corrientes residuales, pretratamientos de biomasa para biohidrógeno, valorización integral de subproductos de soya y fermentación oscura como vía sostenible de producción de bioenergía (Saratale et al., 2021; Singh et al., 2022; Camacho et al., 2022). Aunque no todos estos trabajos se concentran exclusivamente en el suero lácteo, sí aportan el andamiaje teórico y tecnológico que permite comprender por qué el whey se inserta hoy en estrategias más amplias de aprovechamiento de residuos y reconversión de cadenas productivas. A ello se suman aportes de carácter transversal sobre ingeniería de alimentos a

múltiples escalas y uso de subproductos alimentarios en otros sistemas biológicos, que amplían la base tecnológica y conceptual del campo (Roos et al., 2016; Hadj Saadoun et al., 2020). Estos estudios funcionan como literatura de contexto: no siempre examinan de forma exclusiva el lactosuero, pero sí delimitan el ecosistema científico donde su valorización cobra sentido.

Finalmente, varios de los documentos más citados se articulan alrededor de las propiedades funcionales y las aplicaciones tecnológicas de proteínas y compuestos derivados del suero, particularmente en sistemas alimentarios, emulsiones y biosurfactantes. En esta línea aparecen revisiones sobre reemplazo de huevo en productos de panificación, estabilidad oxidativa en emulsiones ricas en omega-3 y producción de biosurfactantes por lactobacilos, tanto desde una perspectiva metodológica como desde el aprovechamiento específico del cheese whey como sustrato (Yazici & Ozer, 2021; Pernin et al., 2019; Kachrimanidou et al., 2022a; Kachrimanidou et al., 2022b). La presencia de estos estudios entre los más citados indica que la relevancia del suero no se agota en su composición química o en su tratamiento como efluente, sino que se proyecta hacia aplicaciones funcionales, formulaciones alimentarias y bioproductos especializados. En términos interpretativos, la alta citación no se concentra en trabajos que simplemente diagnostican un residuo, sino en aquellos que muestran cómo reconfigurarlo dentro de una lógica de innovación. Esa es, en última instancia, la señal más fuerte del campo: el suero lácteo ya no es leído como remanente del proceso, sino como un nodo de oportunidades tecnológicas, industriales y ambientales.

4.3.2 Red de coocurrencia de palabras clave

La red de coocurrencia de palabras clave permite identificar la estructura temática de la producción científica sobre la valorización del suero lácteo en la industria alimentaria. En esta visualización, el tamaño de los nodos representa la frecuencia con la que aparece cada término en la literatura, mientras que las líneas indican la fuerza de relación entre unas palabras clave y otras. A su vez, los colores agrupan los términos en clústeres temáticos, es decir, en conjuntos de conceptos que tienden a aparecer asociados dentro de los mismos documentos. En consecuencia, la red no solo muestra cuáles son los términos más repetidos, sino también cómo se organiza conceptualmente el campo de investigación. A continuación los resultados de la red de coocurrencia (Figura 9)

A primera vista, la red evidencia que el término “whey” ocupa una posición central y dominante, lo que confirma que el suero lácteo constituye el eje articulador de la producción científica analizada. Su cercanía con palabras como “fermentation”, “food industry”, “whey protein”, “cheese”, “lactose”, “metabolism” y “circular economy” sugiere que una parte importante de la literatura se concentra en el estudio del suero como sustrato para procesos biotecnológicos, especialmente fermentativos, así como en su aprovechamiento dentro de cadenas de transformación alimentaria. En este núcleo temático, el suero no se entiende únicamente como un residuo derivado de la industria quesera, sino como una materia prima con capacidad de reintegrarse al sistema productivo mediante procesos de conversión, recuperación y valorización.

El clúster azul, que constituye el conglomerado de mayor densidad, reúne precisamente esos términos vinculados con la transformación biotecnológica e industrial del suero lácteo. La presencia destacada de palabras como “fermentation”, “whey protein”, “lactic acid”, “*Saccharomyces cerevisiae*” y “biomass production” muestra que la investigación ha prestado especial atención a los procesos de fermentación y a la conversión del suero en compuestos o biomoléculas de mayor valor agregado. Este hallazgo sugiere que la literatura ha privilegiado rutas de aprovechamiento orientadas a la obtención de ingredientes funcionales, biomasa, compuestos bioactivos y otros productos derivados del metabolismo microbiano. Así, el clúster azul representa el corazón técnico del campo: allí se concentran las investigaciones que buscan transformar el lactosuero en una plataforma bioproductiva.

Sin embargo, dentro de este mismo clúster aparecen términos como “article” y “nonhuman”, que no responden a categorías sustantivas del tema, sino a descriptores automáticos de indexación bibliográfica. Esto significa que forman parte de la red porque fueron registrados por la base de datos como etiquetas recurrentes, pero no deben interpretarse como líneas de investigación en sí mismas. Su presencia obliga a leer la visualización con cautela, separando los términos conceptualmente relevantes de aquellos que provienen del sistema de clasificación documental. En otras palabras, la red habla, pero no toda voz que aparece en ella tiene el mismo valor interpretativo.

Un segundo núcleo importante corresponde al clúster rojo, articulado alrededor del término “valorisation”. En este grupo aparecen asociados conceptos como “proteins”, “food processing”, “food ingredients”, “functional food”, “sustainability”, “nutrition”, “amino acids”,

“sustainable development” y “cost effectiveness”. Este conjunto refleja una orientación distinta, aunque complementaria, respecto al clúster azul. Mientras el primero se enfoca en los procesos de transformación, el clúster rojo pone el acento en las aplicaciones funcionales, nutricionales y sostenibles de los productos derivados del suero. Aquí la valorización no se presenta solo como un proceso técnico, sino como una estrategia para generar ingredientes alimentarios, mejorar propiedades nutricionales, desarrollar alimentos funcionales y fortalecer la sostenibilidad del sistema agroindustrial. Este clúster muestra, por tanto, que la literatura no solo se interesa por cómo transformar el suero, sino también por para qué y con qué beneficios puede reincorporarse a la industria alimentaria.

El clúster verde, conformado por términos como “waste”, “waste products”, “waste valorization”, “animal” y “animals”, introduce una dimensión más amplia relacionada con el tratamiento del residuo y su resignificación ambiental. Este grupo pone de relieve que una parte de la producción científica sigue abordando el suero lácteo desde la lógica del desecho agroindustrial, aunque ya no con el propósito exclusivo de eliminarlo, sino de encontrar rutas de aprovechamiento que mitiguen su impacto ambiental. En este sentido, el clúster verde representa la entrada ecológica del problema: recuerda que la valorización del suero surge, en gran medida, de la necesidad de transformar una corriente residual en una oportunidad productiva. No obstante, al igual que ocurre con “nonhuman”, los términos “animal” y “animals” deben interpretarse con reserva, ya que responden más a patrones de indexación que a un eje temático central claramente delimitado.

En la periferia de la red aparecen dos nodos de particular interés: “emulsification” y “functional properties”. Aunque su tamaño y conectividad son menores frente a los núcleos principales, su ubicación resulta significativa. Ambos términos sugieren una línea de investigación más específica, orientada al estudio de las propiedades tecnofuncionales del suero y sus fracciones proteicas, especialmente en sistemas alimentarios donde la capacidad emulsificante, la estabilidad y el desempeño funcional son determinantes. Su posición periférica indica que esta línea, aunque presente, aún no alcanza la densidad temática de los clústeres principales. En otras palabras, se trata de una veta emergente o especializada dentro del campo, que podría adquirir mayor protagonismo en investigaciones futuras.

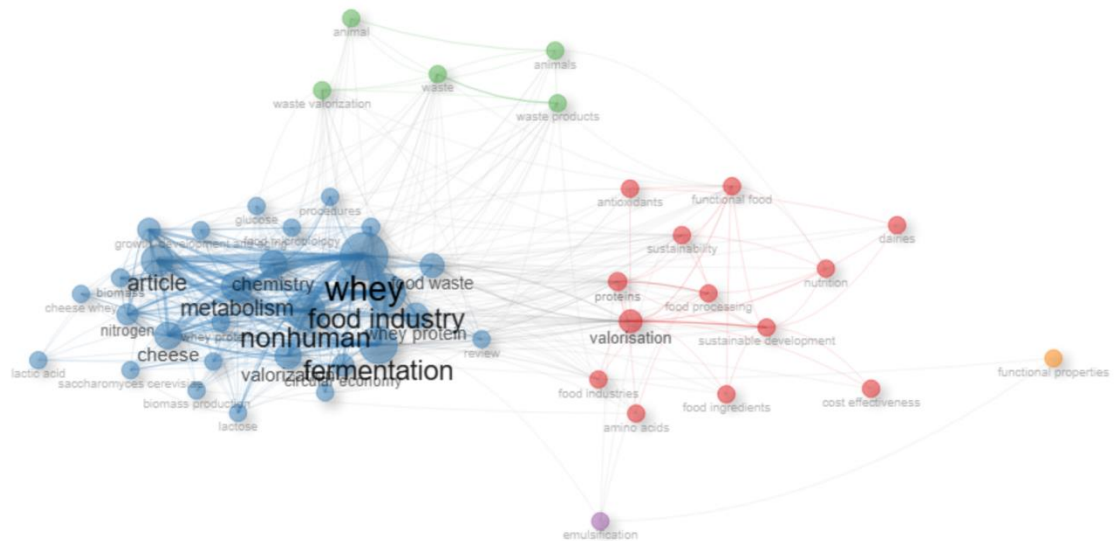
En conjunto, la red permite identificar tres grandes orientaciones en la literatura científica analizada. La primera se relaciona con la transformación biotecnológica del suero lácteo,

especialmente mediante procesos fermentativos y metabólicos. La segunda se enfoca en la valorización del suero como fuente de ingredientes, proteínas y aplicaciones funcionales para la industria alimentaria. La tercera se articula alrededor de la sostenibilidad y la gestión de residuos, resaltando la importancia de reconvertir subproductos agroindustriales bajo los principios de la economía circular. Estas tres líneas no aparecen aisladas, sino entrelazadas, como si el campo se tejiera a partir de tres hilos principales: tecnología, funcionalidad y sostenibilidad.

Desde una perspectiva interpretativa, esta red confirma que la literatura sobre el suero lácteo ha dejado atrás una visión restringida del subproducto como residuo problemático. En su lugar, emerge una mirada más compleja y propositiva, en la que el lactosuero se configura como recurso industrial, sustrato biotecnológico e insumo funcional. Así, la red de coocurrencia no solo muestra la frecuencia de ciertas palabras, sino que revela una transformación de fondo en la manera en que la ciencia entiende el valor del suero lácteo: ya no como excedente que debe disponerse, sino como materia que puede reingresar al circuito productivo con nuevas funciones y significados.

Figura 9

Red de coocurrencia de palabras clave (Co-word network)



5 Discusión

Los resultados permiten comprender que la producción científica sobre innovación y sostenibilidad asociada al aprovechamiento del suero lácteo se encuentra en una fase de consolidación. El crecimiento observado entre 2016 y 2026, especialmente desde 2021, confirma que el tema ha ganado relevancia dentro de una agenda industrial orientada a la economía circular, la bioeconomía y la reducción de residuos agroindustriales.

Este comportamiento coincide con los planteamientos de Pires et al. (2021), Zandona et al. (2021) y Besediuk et al. (2024), quienes reconocen la doble condición del lactosuero: por una parte, representa una carga ambiental significativa cuando se dispone sin tratamiento; por otra, contiene proteínas, lactosa, vitaminas y minerales que lo convierten en un recurso aprovechable. La discusión central, por tanto, no consiste solo en señalar que el suero contamina, sino en definir bajo qué condiciones puede convertirse en materia prima para nuevos procesos y productos.

Desde la perspectiva bibliométrica, la tasa de crecimiento anual del 19,62 % evidencia un campo dinámico. No obstante, este dato debe interpretarse con prudencia: el aumento de publicaciones no implica, por sí mismo, que las tecnologías de valorización estén implementadas de forma amplia en plantas lácteas reales. Persisten barreras de infraestructura, inversión, asistencia técnica, capacidad operativa, regulación sanitaria y cumplimiento ambiental, especialmente en pequeñas y medianas queseras.

La concentración de fuentes, analizada mediante la Ley de Bradford, muestra que el conocimiento se agrupa en revistas y espacios editoriales relacionados con ciencia de alimentos, biotecnología, sostenibilidad y tecnología de recursos. Esta distribución confirma el carácter interdisciplinario del campo, pero también exige enfoques de análisis capaces de integrar variables técnicas, económicas, ambientales y sociales. Una lectura puramente tecnológica sería insuficiente para valorar la viabilidad real de las alternativas de aprovechamiento.

En cuanto a los autores y patrones de productividad, la Ley de Lotka evidencia una estructura investigativa dispersa: la mayoría de los autores participa con una sola publicación, mientras que un grupo reducido mantiene una producción sostenida. Este resultado sugiere que el campo está abierto y en expansión, pero aún no cuenta con una comunidad científica plenamente consolidada. La presencia de autores como Kachrimanidou, Kopsahelis, Papadaki y Lappa

permite identificar núcleos especializados, especialmente en biorrefinería, fermentación, bioprocesos y aplicaciones funcionales del lactosuero.

La distribución geográfica de la producción científica, encabezada por países como India, Grecia, Italia, Estados Unidos, China, Brasil, México y España, confirma que el aprovechamiento del lactosuero es una preocupación global. Sin embargo, su aplicación debe leerse desde las condiciones de cada territorio. Para el caso colombiano, no basta con trasladar tecnologías desarrolladas en contextos industriales de mayor escala; se requiere adaptar las soluciones al tamaño de las queseras, al volumen real de suero generado, al acceso a energía, a los costos de operación y a la capacidad de comercialización.

La red de coocurrencia de palabras clave permitió identificar tres líneas temáticas principales. La primera se relaciona con la transformación biotecnológica del lactosuero mediante fermentación, producción de ácido láctico, biomasa microbiana y bioproductos. La segunda se orienta al desarrollo de ingredientes, proteínas, alimentos funcionales y aplicaciones nutricionales. La tercera se vincula con sostenibilidad, economía circular y gestión de residuos. Estas líneas muestran que el lactosuero ha dejado de ser leído únicamente como efluente problemático y empieza a entenderse como sustrato biotecnológico e insumo funcional.

Los documentos más citados refuerzan esta interpretación, pues se concentran en biorrefinería, bioprocesos, membranas, empaques funcionales, biopolímeros, fermentación y recuperación de compuestos de valor. La literatura de mayor impacto no se queda en el diagnóstico ambiental del residuo, sino que propone rutas de transformación. Sin embargo, algunas investigaciones citadas abordan residuos orgánicos o biomasa en sentido amplio, por lo que sus hallazgos deben trasladarse al contexto lácteo con cautela técnica y no como equivalencias automáticas.

Desde la gerencia de proyectos, estos hallazgos son relevantes porque el aprovechamiento del lactosuero solo puede convertirse en una alternativa sostenible si se formula con criterios integrales. Un proyecto de valorización no debería limitarse a proponer una tecnología o adquirir equipos; debe partir de un diagnóstico del proceso productivo, estimar volúmenes de generación, caracterizar el suero, definir la ruta de transformación, calcular costos de inversión y operación, verificar requisitos sanitarios y ambientales, y evaluar mercados posibles.

En síntesis, la valorización del suero lácteo representa una oportunidad científica, industrial y ambiental, pero no una solución universal. Su viabilidad depende de la articulación entre conocimiento técnico, condiciones territoriales, capacidad empresarial, regulación y mercado. La revisión bibliométrica aporta una cartografía útil del campo, aunque debe complementarse con estudios de factibilidad, balances de materia y energía, análisis de ciclo de vida, pruebas piloto y evaluación financiera para orientar decisiones productivas concretas.

6. Conclusiones

La presente investigación permitió analizar la producción científica sobre innovación y sostenibilidad asociada al aprovechamiento del suero lácteo en la industria alimentaria, mediante una revisión bibliográfica con enfoque bibliométrico de documentos indexados en Scopus durante el periodo 2016–2026. Los hallazgos evidencian que este campo ha dejado de ser una línea marginal dentro de la investigación agroindustrial para convertirse en un territorio científico en expansión, donde el lactosuero ya no se observa únicamente como un residuo problemático, sino como una materia prima con capacidad de reingresar al ciclo productivo bajo criterios de economía circular, bioeconomía e innovación tecnológica.

En relación con el primer objetivo específico, se identificó una evolución temporal creciente de la producción científica, especialmente a partir del año 2021. El corpus analizado estuvo conformado por 93 documentos, distribuidos en 72 fuentes, con una tasa de crecimiento anual del 19,62 %. Este comportamiento permite afirmar que el interés académico por el aprovechamiento del lactosuero ha ganado densidad y visibilidad en la última década. La curva de publicaciones funciona, en este sentido, como un sismógrafo del cambio de paradigma: registra el tránsito de una mirada centrada en la disposición del residuo hacia una perspectiva orientada a su valorización tecnológica, funcional y ambiental.

Respecto al segundo objetivo específico, los resultados permitieron reconocer los principales autores, instituciones, países y fuentes que estructuran el campo de estudio. Se evidenció una alta dispersión autoral, dado que la mayoría de los investigadores participa con una sola publicación, mientras que un grupo reducido mantiene una producción más constante. Autores como Kachrimanidou, Kopsahelis, Papadaki y Lappa se destacan dentro del corpus, lo cual sugiere la existencia de núcleos especializados de investigación. En el plano institucional, sobresale la Ionian University, seguida por universidades de Italia, China, Qatar e Irlanda. A nivel geográfico, India, Grecia, Italia, Estados Unidos, China, Brasil, México y España concentran una parte importante de la producción científica. Estos resultados revelan que el aprovechamiento del lactosuero constituye una preocupación global, aunque su desarrollo depende de las capacidades científicas, tecnológicas e industriales de cada contexto.

En cuanto al tercer objetivo específico, la red de coocurrencia de palabras clave permitió identificar las principales líneas temáticas que organizan la literatura científica. En primer lugar, se encuentra la transformación biotecnológica del lactosuero, asociada a procesos de

fermentación, producción de ácido láctico, biomasa microbiana, bioproductos y aprovechamiento de lactosa. En segundo lugar, aparece la línea relacionada con el desarrollo de proteínas, ingredientes alimentarios, alimentos funcionales y aplicaciones nutricionales. En tercer lugar, se consolida una orientación vinculada con la sostenibilidad, la economía circular y la gestión de residuos agroindustriales. Estas líneas no operan como compartimentos aislados, sino como hilos de una misma trama científica, en la cual tecnología, funcionalidad y sostenibilidad se articulan alrededor de un mismo recurso: el suero lácteo.

Uno de los hallazgos más relevantes de la investigación consiste en evidenciar la transformación conceptual del lactosuero dentro de la literatura científica. Tradicionalmente, este subproducto fue interpretado como una carga ambiental derivada de la industria quesera; sin embargo, los estudios recientes lo reconocen como un insumo estratégico para la generación de productos de alto valor agregado. Esta transición resulta significativa porque permite comprender que la gestión ambiental no debe limitarse a la mitigación del impacto, sino que puede convertirse en una puerta de entrada hacia nuevos modelos productivos, capaces de integrar eficiencia, innovación y sostenibilidad.

De igual manera, los documentos más citados muestran que el impacto académico del campo no se concentra únicamente en estudios descriptivos sobre el residuo, sino en investigaciones que exploran rutas concretas de transformación. Entre ellas se destacan la producción de bebidas funcionales, proteínas concentradas, biopolímeros, biogás, ácido láctico, biomasa microbiana, películas comestibles, empaques funcionales y otros compuestos derivados de procesos biotecnológicos. Este resultado confirma que la literatura científica más influyente no se limita a diagnosticar el problema, sino que propone caminos para convertir una corriente residual en una plataforma de innovación.

Desde una perspectiva agroindustrial, los resultados de esta investigación tienen importancia porque ofrecen una lectura estructurada del conocimiento disponible sobre el aprovechamiento del lactosuero. Para las pequeñas y medianas industrias lácteas, especialmente aquellas ubicadas en territorios rurales, estos hallazgos pueden servir como punto de partida para identificar alternativas de valorización acordes con su escala productiva, capacidad técnica y contexto económico. No obstante, el aprovechamiento del suero no debe asumirse como una solución automática. Su implementación exige evaluar infraestructura, costos, mercado, cumplimiento normativo, calidad sanitaria, manejo de vertimientos y viabilidad operativa.

En síntesis, la investigación concluye que el aprovechamiento sostenible del suero lácteo representa una oportunidad estratégica para avanzar hacia una industria alimentaria más circular, eficiente y ambientalmente responsable. El lactosuero, antes ubicado en los márgenes del proceso productivo, emerge ahora como un nodo de oportunidades científicas, tecnológicas y económicas. Su valorización no solo contribuye a reducir impactos ambientales, sino que también puede fortalecer la competitividad del sector lácteo, diversificar productos, generar valor agregado y promover nuevas formas de gestión agroindustrial orientadas a la sostenibilidad.

7. Recomendaciones y futuros trabajos

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda fortalecer las investigaciones aplicadas sobre el aprovechamiento del suero lácteo en contextos productivos reales, especialmente en pequeñas y medianas industrias lácteas de América Latina y Colombia. Aunque la literatura científica evidencia avances importantes en biorrefinería, fermentación, proteínas funcionales, biogás, biopolímeros y alimentos derivados del lactosuero, todavía persiste una distancia entre el conocimiento producido y su aplicación efectiva en plantas queseras de menor escala. Esa distancia constituye una especie de puente inconcluso entre la ciencia y la práctica industrial, por lo que futuros estudios deberían orientarse a cerrar esa brecha mediante análisis técnicos, económicos, ambientales y comerciales.

Una primera limitación de esta investigación es que el análisis se basó exclusivamente en documentos indexados en Scopus. Esta decisión metodológica permitió trabajar con una base reconocida y pertinente para estudios bibliométricos; sin embargo, también restringe el alcance de los resultados, dado que excluye literatura disponible en otras fuentes como Web of Science, ScienceDirect, SciELO, Redalyc, Google Scholar, repositorios institucionales y documentos técnicos sectoriales. En consecuencia, los hallazgos no deben interpretarse como una representación absoluta de toda la producción científica existente sobre lactosuero, sino como una cartografía construida a partir de una fuente específica de información académica.

Otra limitación se relaciona con la naturaleza del enfoque bibliométrico. Este tipo de análisis permite identificar patrones de producción científica, autores, fuentes, países, citas, redes temáticas y tendencias emergentes; sin embargo, no permite evaluar directamente la eficiencia técnica, la rentabilidad económica ni el impacto ambiental real de cada tecnología de aprovechamiento. Por ello, no sería adecuado afirmar que una alternativa es superior a otra únicamente porque aparece con mayor frecuencia en la literatura o porque acumula más citas. Para orientar decisiones productivas, los resultados bibliométricos deben complementarse con balances de materia y energía, estudios de factibilidad, análisis de ciclo de vida, pruebas piloto y evaluaciones de mercado.

También se reconoce como limitación el posible sesgo derivado de la ecuación de búsqueda utilizada. Aunque la cadena booleana permitió delimitar un corpus coherente con el objetivo de investigación, es posible que algunos documentos relevantes no hayan sido recuperados por utilizar términos diferentes, sinónimos técnicos o enfoques más amplios

relacionados con residuos lácteos, subproductos agroindustriales, economía circular o biorrefinería alimentaria. De igual forma, la presencia de ciertos descriptores automáticos en la red de coocurrencia exige una lectura crítica de los resultados, pues no todos los términos identificados representan necesariamente líneas sustantivas de investigación.

Adicionalmente, debe considerarse que el año 2026 corresponde a un periodo aún no concluido al momento de la recuperación de los datos. Por esta razón, la menor cantidad de publicaciones registradas para ese año no debe interpretarse como una disminución del interés científico, sino como una fotografía parcial de un ciclo todavía abierto. En futuros trabajos sería conveniente actualizar el análisis al cierre del periodo, con el fin de verificar si la tendencia creciente se mantiene, se estabiliza o adquiere nuevas orientaciones temáticas.

Desde el punto de vista metodológico, se recomienda revisar y unificar el periodo de análisis en todo el documento. En algunas secciones se menciona el periodo 2016–2026, en otras aparece 2016–2026 y en otra parte se hace referencia a 2002–2026. Esta inconsistencia puede afectar la claridad del diseño metodológico y generar dudas sobre la trazabilidad del corpus documental. Asimismo, se recomienda verificar la coherencia entre los criterios de inclusión y la tipología documental reportada, dado que, si el estudio afirma haber incluido únicamente artículos científicos y revisiones, no debería registrar libros o capítulos de libro dentro de la muestra final, salvo que se ajuste expresamente la metodología.

Como línea de trabajo futuro, se propone desarrollar investigaciones orientadas a evaluar la viabilidad de implementar tecnologías de valorización del lactosuero en pequeñas plantas queseras. Estos estudios deberían analizar variables como volumen de generación de suero, composición fisicoquímica, disponibilidad de infraestructura, costos de inversión, consumo energético, requerimientos sanitarios, permisos ambientales, capacidad de operación y posibilidades reales de comercialización. Este tipo de investigaciones permitiría pasar del mapa científico al terreno productivo, donde las decisiones no dependen solo del potencial tecnológico, sino de las condiciones concretas de implementación.

También se recomienda realizar estudios comparativos entre diferentes rutas de aprovechamiento del suero lácteo. Entre las alternativas que podrían evaluarse se encuentran la producción de bebidas funcionales, concentrados proteicos, biogás, ácido láctico, biopolímeros, alimentos fermentados, suplementos nutricionales y alimentación animal. Estas comparaciones deberían incorporar indicadores ambientales, económicos, sociales y técnicos, de manera que sea

posible identificar qué alternativa resulta más pertinente según el tamaño de la empresa, el volumen de suero generado, la ubicación territorial, la disponibilidad tecnológica y el mercado objetivo.

En términos de toma de decisiones, los resultados de esta investigación pueden ser útiles para empresas lácteas, instituciones públicas, universidades y formuladores de proyectos agroindustriales. Para el sector empresarial, el estudio evidencia que el lactosuero puede dejar de ser un costo ambiental y convertirse en una fuente de valor agregado. Para el sector público, los hallazgos pueden orientar programas de asistencia técnica, incentivos a la economía circular, fortalecimiento de capacidades rurales y estrategias de gestión ambiental. Para la academia, el trabajo ofrece una base para identificar vacíos de conocimiento, líneas emergentes y oportunidades de investigación aplicada.

Desde la práctica profesional, los hallazgos sugieren que la gestión del lactosuero debe abordarse con una mirada integral. No basta con recomendar una tecnología porque sea innovadora o aparezca ampliamente documentada en la literatura. Una solución técnicamente atractiva puede resultar inviable si no se ajusta a la escala productiva, al presupuesto, al mercado, al cumplimiento sanitario o a la capacidad operativa del productor. En este sentido, el aprovechamiento del lactosuero exige una lectura sistémica, donde cada decisión sea evaluada como parte de una cadena que conecta el residuo, el proceso, el producto, el mercado y el territorio.

Finalmente, el desarrollo de esta investigación representó una experiencia significativa de formación académica y profesional. El proceso permitió comprender que una revisión bibliográfica con enfoque bibliométrico no consiste únicamente en reunir documentos, sino en ordenar el conocimiento, leer sus patrones y reconocer las rutas por las cuales avanza un campo científico. Uno de los principales desafíos fue interpretar los resultados generados por herramientas como Biblioshiny y relacionarlos con una problemática agroindustrial concreta. Esta experiencia fortaleció competencias en análisis crítico, búsqueda documental, interpretación de datos científicos y comprensión de la sostenibilidad como eje de transformación productiva. En términos personales, el proyecto permitió ver el lactosuero no como una sobra del proceso lácteo, sino como una semilla de innovación que, bien gestionada, puede abrir caminos hacia una agroindustria más responsable, eficiente y conectada con los retos ambientales actuales.

Referencias

- Álvarez-Castillo, E., Felix, M., Bengoechea, C., & Guerrero, A. (2021). Proteins from agri-food industrial biowastes or co-products and their applications as green materials. *Foods*, *10*(5), 981.
- Asgher, M., Qamar, S. A., Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2020). Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials. *Food Research International*, *137*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109625>
- Besediuk, V., Yatskov, M., Korchyk, N., Kucherova, A., & Maletskyi, Z. (2024). Whey-from waste to a valuable resource. *Journal of Agriculture and Food Research*, *18*, 101280.
- Borrero Manrique, A., Cujía Mendinueta, K., & Gutiérrez Castañeda, C. (2017). *Ensilado de mango y lactosuero: una alternativa de alimentación en vacas lecheras*.
- Caicedo, O., Valle, S., & Caicedo, M. (2018). Ensilaje de tubérculos de taro tratados con suero de leche: Efecto sobre el comportamiento productivo de cerdos en crecimiento y engorde. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 1–10.
- Caicedo, W. O., Moyano, J. C., Valle, S. B., Díaz, L. A., & Caicedo, M. E. (2019). Calidad fermentativa de ensilajes líquidos de chontaduro (*Bactris gasipaes*) tratados con yogur natural, suero de leche y melaza. *Rev Inv Vet Perú*, *30*(1), 167–177.
- Caicedo, W., Viáfara, D., Pérez, M., Alves Ferreira, F. N., Rubio, G., Yanza, R., Caicedo, M., Caicedo, L., Valle, S., & Motta Ferreira, W. (2020). Características químicas del ensilado de raquis de plátano (*Musa paradisiaca*) y banano orito (*Musa acuminata* AA) tratado con suero de leche y urea. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, *31*(4).
- Camacho, C. I., Estévez, S., Conde, J. J., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2022). Dark fermentation as an environmentally sustainable WIN-WIN solution for bioenergy production. *Journal of Cleaner Production*, *374*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134026>
- Capdevila, V., Vales, M. E., Gely, M. C., & Pagano, A. M. (2020). Análisis de la etapa de hidrólisis de la lactosa del suero lácteo para la obtención de bioetanol. *Avances En Ciencias e Ingenierías*, *11*(4), 1–17.
- Costa, C., Azoia, N. G., Coelho, L., Freixo, R., Batista, P., & Pintado, M. (2021). Proteins derived from the dairy losses and by-products as raw materials for non-food applications. *Foods*, *10*(1). <https://doi.org/10.3390/foods10010135>
- Costa, C. E., Romání, A., Teixeira, J. A., & Domingues, L. (2022). Resveratrol production for the valorisation of lactose-rich wastes by engineered industrial *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource Technology*, *359*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127463>

- Costa, S., Summa, D., Semeraro, B., Zappaterra, F., Rugiero, I., & Tamburini, E. (2020). Fermentation as a strategy for bio-transforming waste into resources: Lactic acid production from agri-food residues. *Fermentation*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/fermentation7010003>
- Fernandes, L. M., Guimarães, J. T., Pimentel, T. C., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Carvalho, C. W. P., Cruz, A. G., & Silva, M. C. (2020). Edible whey protein films and coatings added with prebiotic ingredients. In *Agri-food industry strategies for healthy diets and sustainability* (pp. 177–193). Elsevier.
- González-Torres, I., González, P., Cobas, N., Barrio, J. C., Vázquez, L., Purriños, L., Franco, D., Domínguez, R., & Lorenzo, J. M. (2021). Influencia de la alimentación líquida con suero de leche en el perfil de ácidos grasos del chorizo gallego. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 117(1).
- Hadj Saadoun, J., Montevecchi, G., Zanasi, L., Bortolini, S., Macavei, L. I., Masino, F., Maistrello, L., & Antonelli, A. (2020). Lipid profile and growth of black soldier flies (*Hermetia illucens*, Stratiomyidae) reared on by-products from different food chains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(9), 3648–3657. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10397>
- Hashemi, S. S., Abbasi-Riyakhuni, M., Denayer, J. F. M., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., & Karimi, K. (2023). Efficient bioremediation of distillery and dairy wastewaters: A three-stage biorefinery for high-quality aquaculture feed and bioenergy generation. *Process Safety and Environmental Protection*, 180, 566–574.
- Hernandez-Palma, H. G., Novoa, D. J., & Álvarez, J. E. T. (2024). New trends in green projects aimed at clean energy: an analysis of the scientific literature. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(6), 278–286.
- Ibarruri, J., & Hernández, I. (2019). Valorization of cheese whey and orange molasses for fungal biomass production by submerged fermentation with *Rhizopus* sp. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 42(8), 1285–1300. <https://doi.org/10.1007/s00449-019-02127-4>
- Innocente-Alves, C., Sulzbach, S. L., Marques, A. L., Faustino, A. M., Calegari-Alves, Y. P., Verli, H., Santi, L., & Beys-da-Silva, W. O. (2025). Whey as a Biotechnological Resource: Current Trends and Future Directions. *ACS Food Science & Technology*, 5(8), 2892–2906. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.5c00508>
- Kachrimanidou, V., Alimpoumpa, D., Papadaki, A., Lappa, I., Alexopoulos, K., & Kopsahelis, N. (2022). Cheese whey utilization for biosurfactant production: evaluation of bioprocessing strategies using novel *Lactobacillus* strains. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12(10), 4621–4635. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02767-9>

- Kachrimanidou, V., Papadaki, A., Lappa, I., Papastergiou, S., Kleisiari, D., & Kopsahelis, N. (2022). Biosurfactant production from lactobacilli: an insight on the interpretation of prevailing assessment methods. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *194*(2), 882–900.
- Koller, M., Hesse, P., Fasl, H., Stelzer, F., & Braunegg, G. (2017). Study on the effect of levulinic acid on whey-based biosynthesis of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) by *Hydrogenophaga pseudoflava*. *Applied Food Biotechnology*, *4*(2), 65–78. <https://doi.org/10.22037/afb.v4i2.16337>
- Lappa, I. K., Papadaki, A., Kachrimanidou, V., Terpou, A., Koulougliotis, D., Eriotou, E., & Kopsahelis, N. (2019). Cheese whey processing: integrated biorefinery concepts and emerging food applications. *Foods*, *8*(8), 347.
- Lovato, G., Albanez, R., Triveloni, M., Ratusznei, S. M., & Rodrigues, J. A. D. (2019). Methane production by co-digesting vinasse and whey in an AnSBBR: effect of mixture ratio and feed strategy. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *187*(1), 28–46.
- Panghal, A., Patidar, R., Jaglan, S., Chhikara, N., Khatkar, S. K., Gat, Y., & Sindhu, N. (2018). Whey valorization: current options and future scenario – a critical review. *Nutrition and Food Science*, *48*(3), 520–535. <https://doi.org/10.1108/NFS-01-2018-0017>
- Pérez, D. J. N., Palma, H. G. H., & Álvarez, J. E. T. (2025). Gestión de proyectos y digitalización en la industria 4.0: tendencias y desafíos. *Desarrollo Gerencial*, *17*(1), 1–25.
- Pernin, A., Bosc, V., Soto, P., Le Roux, E., & Maillard, M.-N. (2019). Lipid Oxidation in Oil-in-Water Emulsions Rich in Omega-3: Effect of Aqueous Phase Viscosity, Emulsifiers, and Antioxidants. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *121*(9). <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800462>
- Pires, A. F., Marnotes, N. G., Rubio, O. D., Garcia, A. C., & Pereira, C. D. (2021). Dairy by-products: A review on the valorization of whey and second cheese whey. *Foods*, *10*(5), 1067.
- Pontonio, E., Montemurro, M., De Gennaro, G. V., Miceli, V., & Rizzello, C. G. (2021). Antihypertensive peptides from ultrafiltration and fermentation of the ricotta cheese exhausted whey: Design and characterization of a functional ricotta cheese. *Foods*, *10*(11), 2573.
- Poonia, A., & Pandey, S. (2023). Production of microbial pigments from whey and their applications: a review. *Nutrition and Food Science*, *53*(2), 265–284. <https://doi.org/10.1108/NFS-02-2022-0055>
- Prazeres, A. R., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management*, *110*, 48–68.

- Quiroga, C. P., Galdós, R. A., Ruíz, R., & Rodríguez, A. G. (2017). Uso de lactosuero y concentrado proteico de lactosuero en los piensos de pollos de engorde. *Albéitar: Publicación Veterinaria Independiente*, (208), 38–40.
- Reig, M., Vecino, X., & Cortina, J. L. (2021). Use of membrane technologies in dairy industry: An overview. *Foods*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/foods10112768>
- Rejdlová, A., Lorencová, E., Míšková, Z., & Salek, R. N. (2025). Techno-Functional Properties and Recent Advances in the Manufacturing of Whey Beverages: A Review. *Applied Sciences*, 15(4), 1846.
- Rocha-Mendoza, D., Kosmerl, E., Krentz, A., Zhang, L., Badiger, S., Miyagusuku-Cruzado, G., Mayta-Apaza, A., Giusti, M., Jiménez-Flores, R., & García-Cano, I. (2021). Invited review: Acid whey trends and health benefits. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1262–1275.
- Roos, Y. H., Fryer, P. J., Knorr, D., Schuchmann, H. P., Schroën, K., Schutyser, M. A. I., Trystram, G., & Windhab, E. J. (2016). Food Engineering at Multiple Scales: Case Studies, Challenges and the Future—A European Perspective. *Food Engineering Reviews*, 8(2), 91–115. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9125-z>
- Saratale, R. G., Cho, S.-K., Saratale, G. D., Kadam, A. A., Ghodake, G. S., Kumar, M., Bharagava, R. N., Kumar, G., Kim, D. S., & Mulla, S. I. (2021). A comprehensive overview and recent advances on polyhydroxyalkanoates (PHA) production using various organic waste streams. *Bioresource Technology*, 325, 124685.
- Shah, Y. A., Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Tarahi, M., Almasi, H., Chawla, R., & Ali, A. M. M. (2024). Insights into recent innovations in barrier resistance of edible films for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132354>
- Singh, H., Tomar, S., Qureshi, K. A., Jaremko, M., & Rai, P. K. (2022). Recent Advances in Biomass Pretreatment Technologies for Biohydrogen Production. *Energies*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/en15030999>
- Singh, P., & Krishnaswamy, K. (2022). Sustainable zero-waste processing system for soybeans and soy by-product valorization. *Trends in Food Science and Technology*, 128, 331–344. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.015>
- Trindade, M. B., SOARES, B. C. V., Scudino, H., Guimaraes, J. T., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Souza, S. L. Q., & Almada, R. B. (2019). Cheese whey exploitation in Brazil: a questionnaire survey. *Food Science and Technology*, 39, 788–791.

- Uribarrena, M., Rovira-Cal, E., Urbina, L., Suárez, M. J., Aymerich, E., Guerrero, P., de la Caba, K., & Etxabide, A. (2024). Valorization of cheese whey: closing the loop from protein extraction to whey protein film composting. *Green Chemistry*, 26(7), 4103–4111.
- Usmani, Z., Sharma, M., Gaffey, J., Sharma, M., Dewhurst, R. J., Moreau, B., Newbold, J., Clark, W., Thakur, V. K., & Gupta, V. K. (2022). Valorization of dairy waste and by-products through microbial bioprocesses. *Bioresource Technology*, 346. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126444>
- Yazici, G. N., & Ozer, M. S. (2021). A review of egg replacement in cake production: Effects on batter and cake properties. *Trends in Food Science and Technology*, 111, 346–359. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.071>
- Zambrano Zambrano, J. E., Dueñas-Rivadeneira, A. A., & Gutiérrez Villanueva, A. R. (2021). Biomasa de residuos agrícolas para la obtención de productos agroindustriales: Potencialidades y desafíos en Ecuador. *Centro Azúcar*, 48(3), 120–133.
- Zandona, E., Blažić, M., & Režek Jambrak, A. (2021). Whey utilization: Sustainable uses and environmental approach. *Food Technology and Biotechnology*, 59(2), 147–161.
- Zapata, A. C. C., Múnera, J. F. H., Rave, N. A. G. R. G., & Roldán, B. D. L. R. L. (2019). Aprovechamiento de lactosuero para la producción de ácido láctico y posibles aplicaciones. *Revista Gipama*, 1(1), 169–178.

Anexos

Anexo 1

Matriz bibliográfica del corpus documental analizado

No.	Autores	Año	Título del documento	DOI
1	Kachrimanidou V.; Papadaki A.; Lappa I.; Papastergiou S.; Kleisiari D.; Kopsahelis N.	2022	Biosurfactant Production from Lactobacilli: an Insight on the Interpretation of Prevailing Assessment Methods	10.1007/s12010-021-03686-7
2	Costa C.; Azoia N.G.; Coelho L.; Freixo R.; Batista P.; Pintado M.	2021	Proteins derived from the dairy losses and by-products as raw materials for non-food applications	10.3390/foods10010135
3	Karabekmez Erdem T.; Ayman S.; Tatar H.D.; Ganiyusufoglu E.; Gezginc Y.	2026	Valorization of whey-based media for exopolysaccharide production from <i>S.</i> <i>thermophilus</i> and characterization of the produced exopolysaccharide	10.1007/s11694-025-03863-w
4	Hadj Saadoun J.; Montevecchi G.; Zanasi L.; Bortolini S.; Macavei L.I.; Masino F.; Maistrello L.; Antonelli A.	2020	Lipid profile and growth of black soldier flies (<i>Hermetia illucens</i> , <i>Stratiomyidae</i>) reared on by-products from different food chains	10.1002/jsfa.10397
5	Tsotsouli K.; Didos S.; Koukaras K.; Argiriou A.	2025	Mixotrophic Cultivation of <i>Dunaliella</i> <i>tertiolecta</i> in Cheese Whey Effluents to Enhance Biomass and Exopolysaccharides (EPS) Production: Biochemical and Functional Insights	10.3390/md23030120

6	Roos Y.H.; Fryer P.J.; Knorr D.; Schuchmann H.P.; Schroën K.; Schutyser M.A.I.; Trystram G.; Windhab E.J.	2016	Food Engineering at Multiple Scales: Case Studies, Challenges and the Future—A European Perspective	10.1007/s12393-015-9125-z
7	Vélez S.P.; Cortés Velásquez Y.N.; Sánchez Henao C.P.; Vélez Blandón J.F.	2026	Whey as an Environmental Issue and Its Possible Solutions: Its Utilization as Culture Medium to Produce L-Threonine Through E. coli in a Bioreactor	10.1155/bri/3996383
8	Poonia A.; Petkoska A.T.	2023	Whey Valorization Innovations, Technological Advancements and Sustainable Exploitation	10.1007/978-981-99-5459-9
9	Ringel M.; Paper M.; Willinger M.; Schneider M.; Melcher F.; Stellner N.I.; Brück T.	2025	Sustainable Lipid Production with Cutaneotrichosporon oleaginosus: Insights into Metabolism, Feedstock Valorization and Bioprocess Development	10.3390/microorganisms13091988
10	Pitta A.; Likhitha B.; Pallavi J.K.; Chakraborty D.	2026	Microbial Applications for Waste Valorization and Bio-Energy Production	10.1201/9781003590156-19
11	Camacho C.I.; Estévez S.; Conde J.J.; Feijoo G.; Moreira M.T.	2022	Dark fermentation as an environmentally sustainable WIN-WIN solution for bioenergy production	10.1016/j.jclepro.2022.134026
12	Kadam D.M.; Barbhai M.D.	2022	Biobased Material for Food Packaging	10.1007/978-981-19-6024-6_1
13	Costa C.E.; Romaní A.; Teixeira J.A.; Domingues L.	2022	Resveratrol production for the valorisation of lactose-rich wastes by engineered industrial <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	10.1016/j.biortech.2022.127463

14	Kumar N.; Heena; Dixit A.; Mehra M.; Daniloski D.; Petkoska A.T.	2023	Utilization of Whey: Sustainable Trends and Future Developments	10.1007/978-981-99-5459-9_3
15	Wu C.; Jiang Z.; Li X.; Li M.; Sun X.; Lin H.	2025	Impact of different extraction methods on the properties of corn fiber gum; [不同提取方法对玉米纤维胶性质的影响]	10.11975/j.issn.1002-6819.202504225
16	Sahin S.S.; Goycoolea F.M.; Hernandez Alvarez A.J.	2025	Valorisation of Legume Cooking Water, Aquafaba: An Agri-Food Waste for Alternative Plant-Based Ingredient Formulation	10.1007/978-3-031-91693-9_18
17	Liakos D.; Altiparmaki G.; Kalampokidis A.; Lekkas D.F.; Vakalis S.	2023	The role of hydrochar on the production of biogas and volatile fatty acids during anaerobic digestion of cheese whey wastewater	10.1016/j.scp.2023.101153
18	Grana M.; Marreiros B.C.; Carvalheira M.; Ficara E.; Reis M.A.M.	2024	Polyhydroxyalkanoates production from cheese whey under near-seawater salinity conditions	10.1016/j.nbt.2024.09.005
19	Papadaki A.; Lappa I.K.; Kachrimanidou V.; Gonou-Zagou Z.; Kopsahelis N.	2022	Trametes versicolor as a Natural Source of Bioactive Compounds for the Production of Whey Protein Films with Functional Properties: A Holistic Approach to Valorize Cheese Whey	10.1007/s12649-022-01874-y
20	Obayomi O.V.; Mustapha L.S.; Olawoyin D.C.; Oladoye P.O.; Obayomi K.S.	2026	Waste to wealth: Circular utilization of dairy waste for sustainability in agri-food industries	10.1016/j.scowo.2026.100217
21	Aguda A.; Kim N.; Harbut E.; Elbert J.; Li J.; Merrill R.; Kim C.; Su X.	2025	Architecture Design of Nanofiltration-Based Redox Electrodialysis for Whey Protein Valorization	10.1021/acssuschemeng.5c03425

22	Deepika D.; Maurya A.; Soni M.; Yadav A.; Pandey A.K.; Dubey N.K.; Dwivedy A.K.	2024	Natural pigments: a sustainable approach to utilize agroindustrial waste	10.1016/B978-0-443-23679- 2.00016-1
23	Nieto-Veloza A.; Zhong Q.; Kim W.-S.; D'Souza D.; Krishnan H.B.; Dia V.P.	2021	Utilization of tofu processing wastewater as a source of the bioactive peptide lunasin	10.1016/j.foodchem.2021.130220
24	Ma S.; Ye A.; Singh H.; Acevedo-Fani A.	2026	Emulsifying properties of hemp and whey protein complexes achieved by microparticulation	10.1016/j.foodhyd.2025.111833
25	Panghal A.; Patidar R.; Jaglan S.; Chhikara N.; Khatkar S.K.; Gat Y.; Sindhu N.	2018	Whey valorization: current options and future scenario – a critical review	10.1108/NFS-01-2018-0017
26	Khubber S.; Marti- Quijal F.J.; Tomasevic I.; Remize F.; Barba F.J.	2021	Application of Fermentation to Recover High-Added Value Compounds from Food By-Products: Antifungals and Antioxidants	10.1002/9781119505822.ch7
27	Kachrimanidou V.; Papadaki A.; Papapostolou H.; Alexandri M.; Gonou- Zagou Z.; Kopsahelis N.	2023	Ganoderma lucidum Mycelia Mass and Bioactive Compounds Production through Grape Pomace and Cheese Whey Valorization	10.3390/molecules28176331
28	Ressa A.; Nyhan L.; Sanchez R.; Lombardi D.N.; O'Riordan P.; Arendt E.K.	2026	In vitro protein digestibility and protein quality assessment of novel brewers' spent grain protein isolates	10.1016/j.ifset.2026.104482
29	Noby N.; Khatlab S.N.; Soliman N.A.	2023	Sustainable production of bacterioruberin carotenoid and its derivatives from <i>Arthrobacter agilis</i> NP20 on whey-based medium:	10.1186/s40643-023-00662-3

optimization and product characterization				
30	Castro L.E.N.; Matheus L.R.; Sganzerla W.G.; Colpini L.M.S.	2025	Valorization of residual ashes from boiler combustion process into activated carbon for adsorption of food industry wastewater	10.1007/s13762-024-05998-7
31	Yin X.; Wang S.; Zhu L.; Zhang H.	2024	Advances in Quality Optimization of Plant-based Yogurt; [植物酸奶品质优化的研究进展]	10.13386/j.issn1002-0306.2023030325
32	Taesuwan S.; Jirattanarangsri W.; Wangtueai S.; Hussain M.A.; Ranadheera S.; Ajlouni S.; Zubairu I.K.; Naumovski N.; Phimolsiripol Y.	2024	Unexplored Opportunities of Utilizing Food Waste in Food Product Development for Cardiovascular Health	10.1007/s13668-024-00571-7
33	Russo G.L.; Langelotti A.L.; Martín-García B.; Verardo V.; Romano R.; Sacchi R.; Masi P.	2023	New Biotechnological Production of EPA by <i>Pythium irregulare</i> Using Alternative Sustainable Media Obtained from Food Industry By-Products and Waste	10.3390/su15021147
34	Parakh S.K.; Tong Y.W.	2025	Co-utilizing tofu whey with food waste digestate enhances techno-economic feasibility of microalgal single-cell protein production	10.1016/j.biortech.2025.133011
35	Fernandes L.M.; Guimarães J.T.; Pimentel T.C.; Esmerino E.A.; Freitas M.Q.; Carvalho C.W.P.; Cruz A.G.; Silva M.C.	2020	Edible whey protein films and coatings added with prebiotic ingredients	10.1016/B978-0-12-817226-1.00007-2

36	Göksu F.; Bölek S.	2025	Development of a functional kombucha using almond whey from plant-based cheese production	10.1016/j.ijgfs.2025.101322
37	Song X.; Liu X.; Yue Q.; Wei B.; Song G.; Zhang H.; Du P.; Sun C.; Zhang Z.; Lü M.; Li Y.	2025	Innovative Strategies Based on Delivery Technology to Improve the Absorption and Utilization of Functional Ingredients in Sports Nutrition Foods; [递送技术在提高运动营养食品中功能因子吸收利用效率的创新策略]	10.7506/spkx1002-6630-20241009-037
38	Lanjekar P.R.; Panwar N.L.; Patel M.R.; Divyangkumar N.	2024	Exploring Sustainable energy: An overview of biochemical and thermochemical conversion of dairy and food waste	10.1016/j.epm.2024.09.003
39	Anagnostopoulou C.; Papachristou I.; Kyriakoudi A.; Kontogiannopoulos K.N.; Mourtzinis I.; Kougias P.G.	2024	Development of alginate beads loaded with bioactive ingredients from <i>Chlorella vulgaris</i> cultivated in food industry wastewaters	10.1016/j.algal.2024.103530
40	Sadh P.K.; Kamboj A.; Yadav B.; Chawla P.; Nehra M.; Brar B.; Saharan B.S.; Duhan S.; Duhan J.S.	2025	From peel to power: Exploring the potential of fruit waste in a circular economy	10.1016/j.focha.2025.101133

41	Laz-Mero M.; Tuárez-Párraga M.A.; Córdova-Mosquera A.; Panchana-Cedeño R.; Solórzano Zambrano L.; Gavilanes-López P.; Cedeño-Carpio X.	2024	Sustainable utilization of whey: Opportunities and challenges for the circular economy; [Utilisation durable du lactosérum: opportunités et défis pour l'économie circulaire]; [Aproveitamento sustentável do soro de leite: oportunidades e desafios para a economia circular]; [APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DEL LACTOSUERO: OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR]	
42	Singh H.; Tomar S.; Qureshi K.A.; Jaremko M.; Rai P.K.	2022	Recent Advances in Biomass Pretreatment Technologies for Biohydrogen Production	10.3390/en15030999
43	Hyttinen E.; Pajumo M.; Valtonen A.; Ritala A.; Uusitalo J.; Nordlund E.	2024	Potato and dairy industry side streams as feedstock for fungal and plant cell cultures	10.1016/j.bcab.2024.103367
44	Ghani K.; Kausar T.; Bilal M.; Kauser S.; Gorski F.I.; Sidrah; Ghafran M.; Hussain A.; Woldemariam H.W.	2026	An updated and comprehensive review about fruits and vegetables processing pomace enriched dairy products	10.1186/s43014-025-00355-8
45	Rosseto M.; Rigueto C.V.T.; Gomes K.S.; Krein D.D.C.; Loss R.A.; Dettmer A.; Richards N.S.P.D.S.	2024	Whey filtration: a review of products, application, and pretreatment with transglutaminase enzyme	10.1002/jsfa.13248
46	Da Silva M.O.M.; Dos Santos K.M.O.; Saad S.M.I.; Alonso Buriti F.C.	2021	Prospective applications of probiotics and prebiotics in foods	10.1016/B978-0-323-85170-1.00021-X

47	Jaeger A.; Ahern N.; Sahin A.W.; Nyhan L.; Mes J.J.; van der Aa C.; Vrasidas I.; Arendt E.K.	2024	Dynamic in-vitro system indicates good digestibility characteristics for novel upcycled plant protein; correlation to techno-functional properties	10.1016/j.ifset.2024.103571
48	Boylston T.D.	2019	Byproducts from butter and cheese processing	10.1002/9781119383956.ch5
49	Vera-Santander V.E.; Hernández-Figueroa R.H.; Arrijoja-Bretón D.; Jiménez-Munguía M.T.; Mani-López E.; López-Malo A.	2024	Utilization of Whey for Eco-Friendly Bio-Preservation of Mexican-Style Fresh Cheeses: Antimicrobial Activity of <i>Lactobacillus casei</i> 21/1 Cell-Free Supernatants (CFS)	10.3390/ijerph21050560
50	Xiong S.; Huang Z.; Xu W.; Ding J.; Ni D.; Mu W.	2024	Recent progress in health effects and enzymatic production of epilactose, a functional lactose derivative	10.1016/j.tifs.2024.104338
51	Flinois J.C.; Dando R.; Padilla-Zakour O.I.	2019	Yogurt acid whey utilization for production of baked goods: Pancakes and pizza crust	10.3390/foods8120615
52	Krunić T.Ž.	2026	Probiotic encapsulation by spray-drying: Impact of carrier composition and pretreatment on viability, stability, and antioxidant capacity	10.1177/10820132261419343
53	Țița M.A.; Moga V.-M.; Constantinescu M.A.; Bătușaru C.M.; Țița O.	2024	Harnessing the Potential of Whey in the Creation of Innovative Food Products: Contributions to the Circular Economy	10.3390/recycling9050079
54	Kachrimanidou V.; Alimpoumpa D.; Papadaki A.; Lappa I.; Alexopoulos K.; Kopsahelis N.	2022	Cheese whey utilization for biosurfactant production: evaluation of bioprocessing strategies using novel <i>Lactobacillus</i> strains	10.1007/s13399-022-02767-9

55	Gulied M.; Logade K.; Mutahir H.; Shaftah S.; Salauddin S.; Hameed A.; Zavahir S.; Elmakki T.; Shon H.K.; Hong S.; Park H.; Han D.S.	2023	A review of membrane-based dewatering technology for the concentration of liquid foods	10.1016/j.jece.2023.110583
56	Poonia A.; Pandey S.	2023	Production of microbial pigments from whey and their applications: a review	10.1108/NFS-02-2022-0055
57	Ruska D.; Radenkova V.; Juhnevicova K.; Rubene D.; Ciprovica I.; Zagorska J.	2023	The Impact of Biotechnologically Produced Lactobionic Acid in the Diet of Lactating Dairy Cows on Their Performance and Quality Traits of Milk	10.3390/ani13050815
58	Ibarruri J.; Hernández I.	2019	Valorization of cheese whey and orange molasses for fungal biomass production by submerged fermentation with <i>Rhizopus</i> sp.	10.1007/s00449-019-02127-4
59	Hossain M.S.; Wazed M.A.; Preya M.S.A.; Sultana Z.; Kamal M.M.; Ahmad T.; Shimul I.M.	2026	A Comprehensive Review of Biotechnological Innovations in Valorization of Food Waste: Enhancing Nutritional, Techno-Functional Properties, and Process Optimization for Sustainable Product Development	10.1002/fft2.70194
60	Boruah B.; Ray S.	2024	Current progress in the valorization of food industrial by-products for the development of functional food products	10.30721/fsab2024.v7.i2.349
61	Mayta-Apaza A.C.; Rocha-Mendoza D.; García-Cano I.; Jiménez-Flores R.	2022	Characterization and Evaluation of Proteolysis Products during the Fermentation of Acid Whey and Fish Waste and Potential Applications	10.1021/acsfoodscitech.2c00157

62	Bagiyan V.; Zakoyan A.; Verdyan A.; Ghazanchyan N.; Kinosyan M.; Davidyan T.; Harutyunyan B.; Hovhannisyan S.; Soghomonyan T.; Goginyan V.; Tsaturyan A.; Chitchyan K.	2025	Yeast whey-enriched bread: Nutritional profile and potential functional relevance	10.31989/ffhd.v15i11.1745
63	Costa S.; Summa D.; Semeraro B.; Zappaterra F.; Rugiero I.; Tamburini E.	2020	Fermentation as a strategy for bio-transforming waste into resources: Lactic acid production from agri-food residues	10.3390/fermentation7010003
64	Lee S.; Kim E.; Jo M.; Choi Y.J.	2024	Characterization of yeast protein isolates extracted via high-pressure homogenization and pH shift: A promising protein source enriched with essential amino acids and branched-chain amino acids	10.1111/1750-3841.16918
65	Singh P.; Krishnaswamy K.	2022	Sustainable zero-waste processing system for soybeans and soy by-product valorization	10.1016/j.tifs.2022.08.015
66	Asgher M.; Qamar S.A.; Bilal M.; Iqbal H.M.N.	2020	Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials	10.1016/j.foodres.2020.109625
67	Ganesh Saratale R.; Cho S.-K.; Dattatraya Saratale G.; Kadam A.A.; Ghodake G.S.; Kumar M.; Naresh Bharagava R.; Kumar	2021	A comprehensive overview and recent advances on polyhydroxyalkanoates (PHA) production using various organic waste streams	10.1016/j.biortech.2021.124685

	G.; Su Kim D.; Mulla S.I.; Seung Shin H.			
68	Khurana S.; Kankarwal P.; Saini J.; Panghal P.; Panghal A.; Chhikara N.	2023	Potential of Whey for Production of Value-Added Products Using Microbial Fermentations	10.1007/978-981-99-5459-9_7
69	Reig M.; Vecino X.; Cortina J.L.	2021	Use of membrane technologies in dairy industry: An overview	10.3390/foods10112768
70	Lappa I.K.; Papadaki A.; Kachrimanidou V.; Terpou A.; Koulougliotis D.; Eriotou E.; Kopsahelis N.	2019	Cheese whey processing: Integrated biorefinery concepts and emerging food applications	10.3390/foods8080347
71	Kuo C.-C.; Chen D.; Jiménez-Flores R.; Wick M.; Campanella O.	2024	Valorization of byproducts from meat and dairy industries through fermentation to produce peptides	10.1039/d4fb00058g
72	Yazici G.N.; Ozer M.S.	2021	A review of egg replacement in cake production: Effects on batter and cake properties	10.1016/j.tifs.2021.02.071
73	Bolchini S.; Nardin T.; Morozova K.; Scampicchio M.; Larcher R.	2025	Antioxidant Maillard Reaction Products from Milk Whey: A Food By-Product Valorisation	10.3390/foods14030450

74	Lina G.; Shaik N.B.; Naoual B.; Mustapha J.; Latifa E.	2024	General Characterization of Whey Protein Extracted through Various Techniques: A Comparative Analysis	10.4186/ej.2024.28.12.19
75	Usmani Z.; Sharma M.; Gaffey J.; Sharma M.; Dewhurst R.J.; Moreau B.; Newbold J.; Clark W.; Thakur V.K.; Gupta V.K.	2022	Valorization of dairy waste and by- products through microbial bioprocesses	10.1016/j.biortech.2021.126444
76	Kassem J.M.; Abdulqahar F.W.; Zaky A.A.; Boulkrane M.S.; Darwish A.; Farouk A.; Ozçelik B.; Magouz O.; Liu X.; El-Messery T.M.	2026	Micro and Nanoencapsulation of Omega-3 Fatty Acids: Functional Applications and Future Perspectives in Food Systems	10.1002/fsh3.70071
77	Zhu L.; Snider L.; Vu T.H.; Desam G.P.; Herald T.J.; Dogan H.; Khaled A.Y.; Adedeji A.A.; Alavi S.	2023	Effect of Whey Protein Concentrate on Rheological Properties of Gluten-Free Doughs and Their Performance in Cookie Applications	10.3390/su151310170
78	Łopusiewicz Ł.; Dmytrów I.; Mituniewicz-Małek A.; Kwiatkowski P.; Kowalczyk E.; Sienkiewicz M.; Droźłowska E.	2022	Natural Gum from Flaxseed By-Product as a Potential Stabilizing and Thickening Agent for Acid Whey Fermented Beverages	10.3390/app122010281

79	Trejo-Flores P.G.; Santiago-Rodríguez L.A.; Domínguez- Espinosa M.E.; Cruz- Salomón A.; Velázquez- Jiménez P.E.; Hernández-Méndez J.M.E.; Morales-Ovando M.A.; Cruz-Salomón K.D.C.; Hernández-Cruz M.D.C.; Vázquez- Villegas P.T.; Cruz- Rodríguez R.I.; Serrano- Ramírez R.D.P.; Sánchez-Roque Y.; Vilchis-Bravo H.	2023	Sustainable Ice Cream Base: Harnessing Mango Seed Kernel (Mangifera indica L. var. Tommy Atkins) Waste and Cheese Whey	10.3390/su151914583
80	Álvarez-Castillo E.; Felix M.; Bengoechea C.; Guerrero A.	2021	Proteins from agri-food industrial biowastes or co-products and their applications as green materials	10.3390/foods10050981
81	Alzahrani F.; Akanbi T.O.; Scarlett C.J.; Aryee A.N.A.	2024	The Use of Immobilised Enzymes for Lipid and Dairy Processing and Their Waste Products: A Review of Current Progress	10.3390/pr12040634
82	Montone C.M.; Aita S.E.; Cavaliere C.; Cerrato A.; Laganà A.; Piovesana S.; Capriotti A.L.	2021	High-resolution mass spectrometry and chemometrics for the detailed characterization of short endogenous peptides in milk by-products	10.3390/molecules26216472
83	Balivo A.; D'Errico G.; Genovese A.	2025	Aquafaba: a novel solution for low-fat ice cream production; [Aquafaba: una soluzione innovativa per la produzione di gelati a basso contenuto di grassi]	

84	Peydayesh M.; Bieri A.L.	2025	Circular Economy in Swiss Food Sidestreams: A CO2Footprint Analysis	10.1021/acssusresmgt.4c00476
85	Anagnostopoulou C.; Papachristou I.; Kontogiannopoulos K.N.; Mourtzinis I.; Kougias P.G.	2024	Optimization of microalgae cultivation in food industry wastewater using microplates	10.1016/j.scp.2024.101510
86	Dulović B.M.; Dujković T.D.; Danilov I.S.; Vlajkov V.R.; Loc M.Č.; Grahovac M.S.; Grahovac J.A.	2024	BIOCONTROL AND PLANT GROWTH PROMOTING PROPERTIES OF <i>Bacillus</i> sp. BioSol021 GROWN ON MEAT AND DAIRY INDUSTRY EFFLUENTS	10.2298/APT2455013D
87	Gottardi D.; Siroli L.; Braschi G.; D'Alessandro M.; Vannini L.; Patrignani F.; Lanciotti R.	2025	Surface application and impact of <i>Yarrowia lipolytica</i> grown in cheese whey as adjunct culture for innovative and fast-ripening Caciotta-like cheeses	10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111112
88	Shah Y.A.; Bhatia S.; Al-Harrasi A.; Tarahi M.; Almasi H.; Chawla R.; Ali A.M.M.	2024	Insights into recent innovations in barrier resistance of edible films for food packaging applications	10.1016/j.ijbiomac.2024.132354
89	Waseem M.; Rizwan Javed M.; Ali K.; Saleem M.; Faisal Manzoor M.; Farhan M.; Mugabi R.; Sharma A.; Ahmad Nayik G.	2024	Microwave-sonication synergistic extraction of dairy waste proteins: A review of green approach for dairy waste proteins valorization	10.1016/j.ultsonch.2024.107111
90	Soloha R.; Lukasa L.K.; Dace E.	2025	Estimation and bio-valorisation of food industry by-products in Northern Europe	10.1007/s13399-024-05423-6

91	Kleps C.; Malchow R.; Ettinger J.; Dalichow J.; Schneider R.; Venus J.; Pleissner D.	2025	Utilization of acid whey and oat pomace in succinic acid fermentation	10.1016/j.nbt.2025.01.007
92	Arsic S.; Bulatovic M.; Rakin M.; Jelocnik M.; Subic J.	2018	Economic and ecological profitability of the use of whey in dairy and food industry	
93	Koller M.; Hesse P.; Fasl H.; Stelzer F.; Braunegg G.	2017	Study on the effect of levulinic acid on whey-based biosynthesis of poly(3- hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) by <i>Hydrogenophaga pseudoflava</i>	10.22037/afb.v4i2.16337
94	Scotto di Uccio A.; Matassa S.; Cesaro A.; Esposito G.; Papirio S.	2023	Microbial protein production from lactose-rich effluents through food- grade mixed cultures: Effect of carbon to nitrogen ratio and dilution rate	10.1016/j.biortech.2023.129717
95	Pernin A.; Bosc V.; Soto P.; Le Roux E.; Maillard M.-N.	2019	Lipid Oxidation in Oil-in-Water Emulsions Rich in Omega-3: Effect of Aqueous Phase Viscosity, Emulsifiers, and Antioxidants	10.1002/ejlt.201800462
