

Aprovechamiento biotecnológico del suero quesero: Un estudio bibliométrico

Nombres y apellidos estudiante

Diana Carolina González Moreno

Asesor

Karen Vanessa Marimon Sibaja

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Programa de maestría en biotecnología alimentaria

2024

Agradecimientos

De corazón quiero agradecer a Dios por estar siempre presente a lo largo de esta meta, por permitir fortalecer mis competencias como profesional, y como persona. A mi familia por su apoyo y acompañamiento, que permitieron no desfallecer en el proceso. A mi pareja por ser esa fuerza motivadora, porque con su compañía y amor pude culminar este proyecto.

Quiero agradecer a la universidad y a cada uno de los profesores que con su conocimiento y apoyo permitieron que el trabajo presentado se realizara con éxito.

Resumen

La industria láctea ha tomado mucha fuerza en los últimos años; este sector debe ser fortalecido a través de la investigación con miras al desarrollo de nuevos productos, así como también en el mejoramiento de procesos ya existentes. Una de las industrias que más requiere apoyo es la industria quesera, donde los rendimientos del producto son bajos, aproximadamente del 10 %, y el restante representa una amenaza para el medio ambiente, ya que el lactosuero es vertido en suelos y fuentes acuíferas. En este sentido, la biotecnología ha buscado valorizar este residuo, teniendo presente que en él reposa el 50 % de los componentes de la leche, así como también posee un consorcio de microorganismos con muchos beneficios que lo hacen una materia prima ideal para el desarrollo de este tipo de procesos. Esta revisión bibliográfica presenta los diferentes procesos biotecnológicos desarrollados en los últimos 10 años a través de un análisis bibliométrico que permitió caracterizar la información, empleando como base de datos bibliográfica SCOPUS y el programa Bibliometrix, esto con el fin de analizar la producción literaria a nivel nacional e internacional, los países que más investigan el tema, las revistas donde se encuentra la mayor cantidad de estudios y los autores más citados, partiendo de ecuaciones de búsqueda y operadores booleanos. Con la información obtenida en SCOPUS se procedió a realizar los mapas tecnológicos por medio del programa VOSviewer para encontrar las tendencias referentes a las tecnologías biotecnológicas más empleadas para potencializar el suero quesero en los últimos 10 años. Dentro del análisis realizado por medio de la herramienta VOSviewer, se encontró que los procesos biotecnológicos más estudiados fueron la fermentación y la digestión anaerobia, técnicas por medio de las cuales se puede obtener ácido láctico, etanol, hidrógeno, péptidos bioactivos, biogás, entre otros. En todos los estudios analizados se encontró que lo ideal es someter el suero a pretratamientos como lo son la microfiltración y ultrafiltración,

procesos que permiten fraccionar los componentes y remover el agua del suero para aumentar la pureza de los productos que se desean obtener. Dentro de las ventajas que tienen este tipo de procesos, es que son técnicas amigables con el medio ambiente, se generan biocompuestos y metabolitos útiles para la industria, se genera energía, permite minimizar el impacto ambiental y potencializa esta materia prima. No obstante, estas técnicas tienen sus desventajas, ya que sus costos son elevados y se requieren volúmenes de suero considerables para obtener el rendimiento deseado.

Palabras claves: Suero quesero, biotecnología, análisis bibliométrico, fermentación, digestión anaerobia.

Summary

The dairy industry has grown stronger in recent years; this sector must be strengthened through research for the development of new products, as well as in the improvement of existing processes. One of the industries most in need of support is the cheese industry, where product yields are low, approximately 10%, and the remainder represents a threat to the environment, since whey is discharged into soils and water sources. In this sense, biotechnology has sought to valorize this residue, bearing in mind that it contains 50% of the components of milk, as well as a consortium of microorganisms with many benefits that make it an ideal raw material for the development of this type of processes. This bibliographic review presents the different biotechnological processes developed in the last 10 years through a bibliometric analysis that allowed characterizing the information, using SCOPUS and the Bibliometrix program as bibliographic database, in order to analyze the literary production at national and international level, the countries that most research the topic, the journals where the largest number of studies are found and the most cited authors, based on search equations and Boolean operators. With the information obtained in SCOPUS, technology maps were made using the VOSviewer program to find the trends in the biotechnological technologies most used to potentiate cheese whey in the last 10 years. Within the analysis carried out by means of the VOSviewer tool, it was found that the most studied biotechnological processes were fermentation and anaerobic digestion, techniques by means of which lactic acid, ethanol, hydrogen, bioactive peptides, biogas, among others, can be obtained. In all the studies analyzed, it was found that the ideal is to subject the whey to pretreatments such as microfiltration and ultrafiltration, processes that allow fractionation of the components and removal of water from the whey to increase the purity of the products to be obtained. Among the advantages of these types of processes are that they are

environmentally friendly techniques, biocompounds and metabolites useful for the industry are generated, energy is generated, the environmental impact is minimized and the raw material is enhanced. However, these techniques have their disadvantages, since their costs are high and considerable volumes of whey are required to obtain the desired yield.

Key words: Cheese whey, biotechnology, bibliometric analysis, fermentation, anaerobic digestion.

Tabla de contenido

Resumen	3
Summary	5
Lista de figuras	10
Lista de tablas	12
Lista de siglas	14
Introducción	15
Planteamiento del problema	17
Justificación	20
Objetivos	22
Objetivo general	22
Objetivos específicos	22
Marco conceptual y teórico	23
Generalidades del Suero	23
Definición de suero lácteo	23
Tipos de suero lácteo	23
Composición química del suero	24
Características microbiológicas del suero	26
Obtención de suero lácteo	27
Aprovechamiento de los nutrientes del suero	28
Concentrados de Proteína :	29
Hidrolizados de proteína:	29
Aislados de proteína:	29
Lactosa	30

	8
Biotecnología	30
Tipos de biotecnología	31
Tecnológicas biotecnológicas empleadas para valorizar el suero	32
Fermentación Aerobia	33
Fermentación Anaerobia	33
Digestión anaerobia	34
Celdas de combustibles microbianas	35
Bibliometría	36
Análisis bibliométrico	36
Técnicas de análisis bibliométricos	37
Herramientas necesarias para realizar un análisis bibliométrico	38
Bibliometrix	39
VOSviewer	41
Marco legal	43
Normatividad internacional referente al suero	43
CODEX STAN 289-1995	43
Normatividad Colombiana relacionada con el suero quesero	43
Resolución 616 del 2006	43
Resolución 2997 del 2007	43
Resolución 1031 del 2010	44
NTC 5098:2002	44
Metodología	45
Establecimiento de las preguntas de investigación y extracción de la información	45

	9
Resultados	49
"Diagnóstico de la producción de suero quesero a nivel nacional e internacional: una revisión del panorama actual"	49
Panorámica de la producción de leche a nivel nacional e internacional	49
Producción de queso a nivel mundial	54
Producción de queso en Colombia	57
Volúmenes de producción de suero quesero a nivel nacional e internacional	58
Caracterización bibliométrica referente a potencialización de suero quesero por medio de procesos biotecnológicos	61
Análisis bibliométrico	61
Principales tendencias biotecnológicas empleadas para potencializar el suero quesero	68
Análisis de las tendencias de los estudios referentes a procesos fermentativos	70
Análisis crítico del empleo de biotecnología como mecanismo para potencializar el suero quesero	75
Procesos fermentativos	75
Fermentación láctica	76
Fermentación Alcohólica	81
Producción de Hidrógeno	88
Fermentación proteolítica	93
Digestión anaerobia	98
Conclusiones	103
Recomendaciones	106

Lista de figuras

Figura 1 Tecnológicas biotecnológicas aplicadas en la transformación del suero y productos obtenidos	35
Figura 2 Metodología empleada para realizar análisis bibliométrico utilizando Bibliometrix.	40
Figura 3 Metodología empleada para realizar mapeo bibliométrico	42
Figura 4 Producción de leche bovina a nivel mundial 2015-2024.....	49
Figura 5 Producción de leche en el mundo a 2022	50
Figura 6 Producción de leche en países latinoamericanos 2022	51
Figura 7 Producción de leche en Colombia 2013-2024.....	52
Figura 8 Producción de queso a nivel mundial 2015-2024.....	55
Figura 9 Principales países productores de queso a nivel mundial para el año 2023	56
Figura 10 Principales países productores de queso a nivel mundial para el año 2023	56
Figura 11 Producción de queso en Colombia	57
Figura 12 Principales países exportadores de suero lácteo	59
Figura 13 Resultado de los estudios realizados para potencializar el suero quesero empleando biotecnología desde el 2013 al 2023.....	62
Figura 14 Mapa de producción científica referente a la valorización de suero quesero por procesos biotecnológicos	63
Figura 15 Principales países donde se evidencia producción científica referente a la valorización de suero quesero por procesos biotecnológicos	64
Figura 16 Comportamiento de las publicaciones científicas en las revistas más importantes en los últimos 10 años referentes a la potencialización del suero quesero	65

Figura 17 Países más citados.....	66
Figura 18 Áreas donde se han desarrollado investigaciones referentes al aprovechamiento del suero quesero en procesos biotecnológicos.....	67
Figura 19 Tendencias biotecnológicas para potencializar el suero quesero	69
Figura 20 Comportamiento de las investigaciones a través de los años	69
Figura 21 Clúster 1 Fermentación.....	70
Figura 22 Clúster 3 Fermentación Producción de Ácidos Orgánicos	71
Figura 23 Clúster 4 Fermentación oscura para la Producción de Hidrógeno	72
Figura 24 Clúster 2 Digestión Anaerobia.....	73

Lista de tablas

Tabla 1	Composición química del suero	24
Tabla 2	Tratamientos de membrana empleados para recuperar componentes del suero	28
Tabla 3	Formatos y extensiones empleadas por Bibliometrix para realizar análisis bibliométrico según la base de datos.....	39
Tabla 4	Formatos y extensiones empleadas por VOSviewer para realizar análisis bibliométrico según la base de datos.....	41
Tabla 5	Preguntas de investigación Resarce Quistiones (RQ).....	45
Tabla 6	Criterios de inclusión (CI).....	46
Tabla 7	Criterios de exclusión (CE).....	47
Tabla 8	Ecuaciones de búsqueda.....	47
Tabla 9	Ecuaciones de búsqueda referente a procesos fermentativos.....	74
Tabla 10	Ecuaciones de búsqueda referente a digestión anaerobia	74
Tabla 11	Publicaciones científicas más citadas en los últimos 10 años por Scopus, referentes a la obtención de ácido láctico a partir de suero quesero por procesos fermentativos(2013-2023).....	79
Tabla 12	Publicaciones científicas más citadas en los últimos 10 años por Scopus, referentes a la obtención de Etanol a partir de suero quesero por procesos fermentativos(2013-2023).....	85
Tabla 13	Publicaciones científicas más citadas en los últimos 10 años por Scopus, referentes a la producción de Hidrógeno a partir de suero quesero por procesos fermentativos(2013-2023).....	90

Tabla 14 Publicaciones científicas más citadas en los últimos 10 años por Scopus, referentes a la producción de péptidos bioactivos a partir de suero quesero por procesos fermentativos (2013-2023)..... 95

Tabla 15 Publicaciones científicas más citadas en los últimos 10 años por Scopus, referentes a los procesos de digestión anaerobia para la obtención de biocombustibles a partir de suero quesero(2013-2023) 100

Lista de siglas

(FAO) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

(OCDE) Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

(USDA) Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

(EWPA) European Whey Processors Association

(FEDEGAN) Federación Colombiana de Ganadero

(ASOLECHE) Asociación Colombiana de Procesadores de la Leche

(DANE) Departamento Administrativo Nacional de Estadística

(ICA) Instituto Colombiano Agropecuario

(ANALAC) Asociación Nacional de Productores de Leche

Introducción

El queso es uno de los derivados lácteos que más se elaboran en el mundo (López-Mendoza et al., 2023) y en Colombia la tendencia es la misma (Ministerio de Agricultura, 2024). Hay un problema álgido en la elaboración de queso y es el bajo rendimiento de este producto, cuyo remanente es el suero; este causa daños al medio ambiente si no es tratado (Guadalupe et al., 2020).

La biotecnología ha visto este residuo como un potencial sustrato para la obtención de diferentes metabolitos. En el suero lácteo se puede encontrar hasta el 50 % de los nutrientes de la leche entera. Lo anterior lo hace un sustrato ideal para estos procesos, ya sea para la obtención de productos o la producción de energía más amigable con el medio ambiente. (Quintero, 2018).

No obstante, el país presenta una escasa investigación y producción literaria con respecto al tema, ya sea por la falta de conocimiento, documentación dispersa, poco reconocimiento del potencial de este residuo, limitaciones tecnológicas, falta de recursos, y/o falta de personal capacitado. Esto promueve la pérdida de oportunidades, el desperdicio de recursos, la dependencia de las tecnologías de otros países, la escasez de información para la toma de decisiones, que promueve el incremento de los problemas ambientales y económicos del país.

Los análisis bibliométricos buscan ser el punto de partida para los investigadores y en los últimos años han tomado mucha fuerza (González, 2021). Un análisis bibliométrico es un estudio cuantitativo que permite calcular el nivel de producción científica, caracterizar la información referente a un tema, identificar las áreas de investigación que potencializan el mismo, países, autores e instituciones que han investigado el tema, todo con el fin de facilitar una mejor adquisición de la información, que proporcione resultados para garantizar la calidad investigativa y la toma de decisiones (González, 2021).

La presente revisión muestra los diferentes procesos biotecnológicos empleados para potencializar el aprovechamiento del suero quesero, las últimas tendencias, los países en donde se generan más investigaciones, los autores más citados y las tecnologías menos estudiadas; que puede servir de base para el desarrollo de nuevos proyectos investigativos, que permitan aprovechar este residuo agroalimentario y a su vez fortalecer el programa de Maestría en Biotecnología Alimentaria, con miras a impulsar esta rama de la ciencia en el país, en pro del engranaje entre la academia, el sector productivo y el sector gubernamental.

Planteamiento del problema

En el mundo se procesa aproximadamente 22 millones de toneladas de queso por año (FAOSTAT, 2023). No obstante, el queso reporta un rendimiento promedio de 10%, registrando valores de producción de suero quesero de alrededor de 200 millones de toneladas a nivel mundial. Este valor es aproximado debido a que no existe una base de datos que controle y cuantifique la obtención del mismo en cada país (Bintsis & Papademas, 2023). Los mayores productores de suero son Estados Unidos, Alemania, Francia, Países Bajos e Italia, estos países han ahondado esfuerzos por hacer de este subproducto un potencial en su economía, con miras a mitigar los problemas productivos y ambientales (OCLA, 2024). No obstante, en países subdesarrollados, la transformación y el aprovechamiento del suero quesero es muy bajo debido a los costos tecnológicos de la transformación, así como también a la falta de organización y soluciones que permitan al pequeño productor dar un segundo uso a este residuo. En Latinoamérica, aproximadamente el 50 % es vertido a ríos y cuerpos hídricos y en Colombia se estima que un 70 % es destinado a alimentación animal o es desechado sin ningún tratamiento, convirtiéndolo en uno de los residuos agroalimentarios más nocivos para el medio ambiente (Bejarano, 2022). El problema crece teniendo en cuenta que en los últimos años la producción de queso en Colombia ha registrado valores aproximados de 60000 toneladas, lo que estima en una producción de 540000 toneladas métricas de suero (FAOSTAT, 2023). Ambientalmente, afecta los suelos disminuyendo su rendimiento y en fuentes acuíferas, aumenta los valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), que son parámetros para determinar la contaminación del agua, afectando los organismos pertenecientes a estos ecosistemas (Rodríguez, 2023).

La biotecnología ha estudiado este residuo con miras a generar soluciones que permitan minimizar el impacto ambiental, así como también reconocer las bondades que tiene este residuo (Asas et al., 2021a). El suero alberga más del 50 % de los nutrientes de la leche y es un sustrato ideal para los procesos biotecnológicos que, por desconocimiento y falta de investigaciones, es desaprovechado (Rodríguez et al., 2020). Es de vital importancia conocer las tendencias y nuevos estudios que permitan potencializar las investigaciones referentes al uso de la biotecnología para la valorización de este residuo, así como también los desafíos presentados al aplicar dichas tecnologías (Peñafiel, 2024). En Colombia no existen estudios bibliométricos puntuales referentes a la valorización del suero por procesos biotecnológicos. La falta de conocimiento y escasa caracterización de la información dificultan el acceso a estudios precisos y veraces (González, 2021). Lo anterior ha hecho que en Colombia sean escasos los estudios referentes a este tema, generando dependencia de productos y tecnologías extranjeras y un estancamiento científico y tecnológico que incrementa la pérdida de recursos tanto económicos como productivos y la no mitigación del problema ambiental que genera este residuo (Sánchez, 2023).

Estos inconvenientes hacen que se haga necesario un análisis bibliométrico, que permita identificar el panorama de la producción científica, las tendencias y nuevas tecnologías, los retos tecnológicos, los países que más investigan el tema, los principales autores, las principales revistas científicas, que permita la caracterización de la información como pilar para el desarrollo de nuevas investigaciones. Es así como, por medio de la presente monografía, se busca dar respuesta a los siguientes interrogantes:

¿Cuál es el panorama actual de la producción literaria a nivel nacional e internacional, con relación a los estudios científicos que emplean la biotecnología para potencializar el uso del suero quesero?

¿Cuáles son los retos, campos de acción y tendencias tecnológicas que permiten impulsar el empleo de la biotecnología para potencializar el uso del suero quesero?

Justificación

La biotecnología ha avanzado significativamente en los últimos años, presentando un gran interés por el tratamiento de residuos agroindustriales, que permitan mitigar el impacto de estos en el medio ambiente, así como también promover el desarrollo de procesos productivos más sostenibles (Iniesta, 2020). Uno de los residuos agroindustriales más estudiados es el suero proveniente de la fabricación de queso, debido al impacto negativo que tiene este a nivel productivo y ambiental (Bernal, 2022b). Se estima que en el mundo se generan aproximadamente 200 millones de toneladas métricas de suero (Bintsis & Papademas, 2023), siendo esta una cantidad considerable que representa un desafío ambiental, así como también un reto para su valorización debido a que en este se encuentra el 50 % de los nutrientes de la leche, siendo un sustrato ideal para los procesos biotecnológicos que aún no se ha estudiado del todo. Las pérdidas por desconocimiento, la escasa inversión en investigaciones y una baja producción de trabajos científicos hacen que se agrave el problema (Zhang et al., 2023).

Es así como la presente monografía se realizó con el fin de determinar, por medio de un análisis bibliométrico, el panorama actual del empleo de la biotecnología para valorizar el suero quesero. La realización de este análisis bibliométrico puede potencializar el aprovechamiento del lactosuero, ya que por medio de este se puede revisar el estado actual de los procesos biotecnológicos, mapear las tendencias más y menos empleadas, revisar el comportamiento de estas tendencias en los últimos 10 años, así como también, como investigador, reconocer las ventajas y desventajas de dichos procesos que permitan fortalecer los estudios ya desarrollados, así como también la generación de nuevas ideas que faciliten la toma de decisiones y el desarrollo de estrategias de investigación. Como investigador, se busca aportar a la academia una caracterización bibliográfica que permita contar con una visualización de la producción literaria,

los países con mayor producción científica, las principales áreas de conocimiento involucradas en estas investigaciones, los principales autores y revistas científicas, que sirvan de punto de partida para la recopilación de la información de futuras investigaciones. El poder recopilar la información anterior permitirá generar una base de datos para facilitar la búsqueda de posibles colaboraciones y el acceso a información de calidad y rigor científico, así como también el plantear trabajos interdisciplinarios según las áreas que más hayan explorado el tema, que permitan fortalecer la valorización del suero quesero por medio de procesos biotecnológicos.

Se espera que con el desarrollo de la presente revisión bibliográfica se contribuya a nivel académico, en el desarrollo de nuevos proyectos que fortalezcan la línea de investigación de Ingeniería de Bioprocesos Alimentarios, propia de la Maestría en Biotecnología Alimentaria, que permitan la articulación entre la academia y el sector productivo.

En cuanto a la industria, el presente trabajo busca, como investigador, el generar nuevas ideas que fomenten procesos más rentables y amigables con el medio ambiente, promoviendo el empleo de una economía circular, la disminución en el desperdicio de alimentos, el valor agregado en los productos, que no solo beneficiaría a la industria, sino a la comunidad en general.

Objetivos

Objetivo general

Realizar un estudio bibliométrico exhaustivo sobre las tecnologías biotecnológicas aplicadas al aprovechamiento del suero quesero, con el fin de identificar tendencias, actores clave y avances tecnológicos a nivel nacional e internacional, utilizando herramientas como Bibliometrix y VOSviewer para el análisis de la producción científica.

Objetivos específicos

Diagnosticar el estado actual de la producción de lactosuero, tanto a nivel nacional como internacional.

Caracterizar la producción científica de los últimos 10 años, relacionada con la valorización del suero quesero, determinando el volumen de publicaciones, los países líderes en investigación, los autores más influyentes, utilizando el programa Bibliometrix para organizar y sintetizar la información.

Identificar las principales tendencias biotecnológicas empleadas para la valorización del suero quesero, a través de un análisis bibliométrico con la herramienta VOSviewer, para determinar su potencial de aplicación en la industria.

Realizar un análisis crítico de los procesos biotecnológicos industriales que utilizan el suero quesero como sustrato, integrando los resultados obtenidos con Bibliometrix y VOSviewer, para conocer las ventajas y desventajas de dichos procesos.

Marco conceptual y teórico

Generalidades del Suero

Definición de suero lácteo

Según el CODEX ALIMENTARIUS, el suero lácteo es un remanente de la producción de queso, mantequilla, caseína por medio de coagulación química o enzimática (FAO - OMS, 2013). Para Colombia, la definición de este producto hace referencia al producto residual obtenido a partir de la leche en la elaboración del queso o la mantequilla (Ministerio de Salud y Protección Social, 1986).

Tipos de suero lácteo

Dependiendo del proceso de donde se obtenga el suero, existen diferentes tipos de suero. Existen el suero dulce y el suero ácido.

Suero Dulce

Es el obtenido por la coagulación de la leche por medio de enzimas, que logran la disminución del pH a valores de más o menos 5,8 a 6,6, como es el caso de los quesos frescos como el campesino (Rodríguez, 2020). Este suero contiene nitrógeno no proteico, lactosa y proteínas, entre otros.

Suero Ácido

Es obtenido por medio de la coagulación desarrollada por la acción de ácidos débiles, que generan una disminución en el pH de la leche cercano a 5.1. Este procedimiento es empleado para la elaboración de quesos hilados como el doble crema y el queso mozzarella. Este es rico en minerales tales como lo son el calcio y el fósforo (Sequeira et al., 2019).

Composición química del suero

A continuación, en la **tabla 1**, se presenta la composición química de los diferentes tipos de suero.

Tabla 1

Composición química del suero

Componente	Lactosuero dulce (g/L)	Lactosuero Ácido (g/L)
Sólidos Totales	63,0-70,0	63,0-70,0
Lactosa	46,0-52,0	44,0-46,0
Proteína	6,0-10,0	6,0-8,0
Calcio	0,4-0,6	1,2-1,6
Fosfatos	1,0-3,0	2,0-4,5
Lactato	2,0	6,4
Cloruros	1,1	1,1

Fuente:(Mazorra, 2019)

Dentro de los componentes más importantes del suero se tiene:

Minerales: Dentro de los minerales de la leche que se encuentran en el suero se pueden citar al magnesio, sodio, calcio y potasio. El calcio es uno de los minerales que más cobra importancia dentro de los encontrados en el suero lácteo (Rodríguez, 2020). Dentro de los minerales de la leche que se encuentran en el suero, se pueden citar al magnesio, sodio, calcio y potasio. El calcio es uno de los minerales que más cobra importancia dentro de los encontrados en el suero lácteo (Rodríguez, 2020).

Proteínas: Las proteínas que se encuentran en el suero se pueden considerar como los componentes más importantes a nivel industrial y nutricional. Constituyen aproximadamente el 20 % de la leche bovina(Bejarano, 2022). Su importancia radica en que dichas proteínas están constituidas por aminoácidos esenciales que las hacen tener un alto valor biológico como lo son la leucina, triptófano, lisina y aminoácidos azufrados, estos aminoácidos no pueden ser sintetizados por el cuerpo y de ahí radica su importancia(Iniesta, 2020).

En el suero se encuentran presentes las siguientes proteínas:

α -lactoalbúmina: Es una proteína que se encuentra mayoritariamente en la leche de los mamíferos. Constituye una de las proteínas más importantes de la leche. Gracias a su contenido de cisteína se le puede considerar como una fuente para la producción del antioxidante glutatión por eso es muy utilizada en suplementos de productos para deportistas (Vico, 2023). Esta proteína tiene la facilidad de ser absorbida rápidamente por el organismo de ahí su interés en el empleo de dicha proteína en los productos dietético-nutricionales (Mazorra, 2019). En productos de alimentación infantil es utilizada para asimilar los aminoácidos esenciales que se pierden con los procesos térmicos (Giraud M, 2021).

β -lactoglobulina: Se considera como la segunda en importancia de las proteínas del suero, es la proteína de mayor tamaño (Torres, 2022). Tiene varias propiedades como lo son proteger el musculo, facilita el ahorro de glucógeno durante el ejercicio, facilita la absorción de proteínas liposolubles. Por dichas propiedades es muy utilizado en la industria farmacéutica (Mazorra, 2019)

Inmunoglobulina: Estas proteínas fortalecen el sistema inmunológico, representan aproximadamente el 10% de las proteínas del suero (Lisbeth, 2022)

Lactoferrina: Es una proteína globular, que tiene función en el sistema inmunológico y que también posee propiedades antimicrobianas. Por eso es muy utilizada en productos relacionados con alimentación infantil. Representan un porcentaje del (3%) de las proteínas del suero de la leche (Ortega, 2022).

Albúmina sérica: También llamada seroalbúmina. Rica en aminoácidos esenciales. Se encuentran en un porcentaje alrededor del 5% de las proteínas del suero de la leche (Mazorra, 2019)

Lactosa: La lactosa es un disacárido presente en la leche, compuesto por dos monosacáridos glucosa y galactosa. Es uno de los constituyentes mayoritarios del suero luego del agua . Se presenta en una proporción de más o menos 4,9 %(Capdevila, 2020). Como se observa (Capdevila, 2020)en la tabla 1, se puede evidenciar un mayor porcentaje de lactosa en el suero dulce, ya que en el suero ácido al haber presencia de compuestos ácidos se pueden formar lactatos por la presencia de ácido láctico, disminuyendo su porcentaje (Mazorra, 2019).

Características microbiológicas del suero

El suero es rico en bacterias ácido-lácticas, que son responsables de la fermentación de los carbohidratos. En este grupo de bacterias podemos encontrar los *Lactococcus*, *Lactosphaera*, *Lactobacillus*, *Pediococcus* y *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Missococcus*, *Oenococcus*, *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Dolosigranulum*, *Globicatella*, *Teragenococcus*, *Alloiococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Vagococcus*, y *Weisella* (Franco, 2019).

Las bacterias ácido lácticas se clasifican según los productos resultantes de la fermentación, así estas se clasifican en heterofermentativas y homofermentativas. Las bacterias homofermentativas son aquellas cuyo producto resultante de la fermentación es mayoritariamente ácido láctico. En estas podemos encontrar *Pediococcus* y *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Lactobacillus* . Estas son usadas en la industria para la producción de ácido láctico(Asla, 2020).

Las bacterias heterofermentativas son aquellas cuyos productos resultantes de la fermentación se pueden mencionar el ácido láctico, el dióxido de carbono, etanol, acetato. En este grupo tenemos bacterias como *Leuconostoc*, *Lactosphaera* algunos *lactobacillus* (Rueda, 2019)

Estas bacterias son utilizadas en la industria como cultivos iniciadores para productos fermentados, también como base para cultivos probióticos, aunque no todas las bacterias ácido lácticas podrían considerarse como cultivos probióticos, las más utilizadas son las bifidobacterias, *lactobacilos* y algunos tipos de bacterias, que luego de estudios son aprobadas para ser grado alimenticio (Carrero, 2019).

Obtención de suero lácteo

Como se nombró antes el suero es un producto obtenido a partir de la elaboración de queso o de mantequilla (Bernal, 2022). La presente revisión se realizó teniendo en cuenta el suero obtenido de la industria quesera. Para la elaboración del queso se emplean técnicas como la adición de enzimas que permiten la precipitación de las proteínas o por medio de la acidificación de la leche, por un lado, obtenemos la cuajada y por otro se obtiene el suero (Rodríguez, 2023). El rendimiento de la mayoría de los quesos oscila entre un 10 a un 14 % (Araúz Solís, 2020), dando así una producción de suero de más o menos el 80 y a el 90 %. Luego de la elaboración del queso quedan disueltos en el suero la mayoría de compuestos hidrosolubles (Iniesta, 2020). Según estudios realizados, se estima que en este queda depositado el 55 % de los nutrientes de la leche. Nutrientes como lo son la lactosa, los minerales, algunos lípidos y proteínas. Estas características lo hacen ideal como sustrato para procesos biotecnológicos (Benítez, 2021).

Aprovechamiento de los nutrientes del suero

La industria ha empleado muchos de los componentes del suero ya sea para la extracción individual de los mismos o como insumos para la incorporación de estos en otros productos (Rodríguez, 2023).

Para el aprovechamiento de los componentes que se encuentran en el suero, se han empleado diferentes tratamientos de membrana (Bernal, 2022), estos procesos buscan fraccionar los componentes presentes en el suero a través de membranas que poseen un tamaño específico y al cual se le aplica una presión para obtener diferentes compuestos como se puede ver en la **tabla 2**. Los métodos de membrana empleados son la osmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración y microfiltración, estos no sólo contribuyen a la separación y concentración de los nutrientes del suero, sino que también, permite obtener sustratos más inocuos, favoreciendo así los procesos biotecnológicos que se emplean para la valorización del suero quesero (Peñañiel, 2024).

Tabla 2

Tratamientos de membrana empleados para recuperar componentes del suero

Tratamiento	Tamaño del poro	Función de la tecnología	Presión empleada
Osmosis inversa	10^{-4} 10^{-3} μm	Eliminar el agua del suero para concentrarlo	200-1000 psi
Nanofiltración	10^{-3} 10^{-2} μm	Separación de minerales y lactosa del suero	150-600 psi
Ultrafiltración	10^{-2} 10^{-1} μm	Concentración de proteínas y sólidos de la leche	30-150 psi
Microfiltración	10^{-1} 10^1 μm	Separación de bacterias, separación de micelas de caseína y lípidos	10-50 psi

Fuente: (Wen-qiong et al., 2019), Lourdes (2020), (Bernal, 2022)

En los últimos años las proteínas del suero han sido ampliamente utilizadas (Bejarano, 2022). Las proteínas del suero son aisladas para poder ser usadas en diferentes industrias para el mejoramiento y valor agregado de un producto. En el mercado se pueden encontrar en diferentes presentaciones como lo son los concentrados de proteínas, hidrolizados y aislados (Iniesta, 2020)

Concentrados de Proteína : Los concentrados de proteína de suero también llamados WPC (Betancor Pernia, 2019), son obtenidos por procesos de ultrafiltración donde se separan los componentes no proteicos, llegando a obtener una concentración mínima del 25 % hasta una concentración del 90 %, dependiendo del método de purificación. Gracias a su poder de gelificación, de emulsión y de producción de espuma, los concentrados de proteína de suero WPC son empleados en la elaboración de salsas, en la industria panadera, en la elaboración de helados, en la elaboración de derivados lácteos (Bernal, 2022)

Hidrolizados de proteína: Los hidrolizados de proteína de suero se obtienen en procesos que buscan reducir el tamaño de las proteínas para favorecer su absorción, mejorar propiedades como la solubilidad y el poder de emulsión. La composición final depende del grado de hidrolisis aplicado (Betancor Pernía, 2019)

Estos productos hidrolizados favorecen el rompimiento de la proteína cuyo resultado son péptidos y aminoácidos libres, que son muy apetecidos en la industria para la fabricación de alimentos funcionales (Báez, 2022)

Aislados de proteína: Para lograr la obtención de los aislados de proteína WIP (Whey Protein Isolate) a partir de suero quesero, el suero sufre un procedimiento mucho más

especializado que el empleado para la obtención de concentrado de proteínas, lo que permite aumentar la pureza.(Vico, 2023). Es así como se consigue una concentración del 90%, que facilita su empleo en la producción de alimentos funcionales, alimentos para deportistas, así como también para la industria farmacéutica. Otras propiedades que tienen estas proteínas son la formación de geles, emulsiones, funciones de hidratación entre otras (Montesdeoca, 2019).

Los anteriores productos se obtienen por medio de tratamientos de membrana, de estos procesos se obtiene un líquido que traspasa la membrana, es rico en lactosa y minerales, además es un producto inocuo ya que los microorganismos presentes en el suero quedan retenidos en la membrana. El anterior es el denominado permeado de suero y favorece altamente los procesos fermentativos al tener la mayor fuente energética, la lactosa (Betancor Pernia, 2019).

No solo se han aprovechado las proteínas del suero, también los carbohidratos como la lactosa han tenido un uso amplio en la industria.

Lactosa : Es un carbohidrato cuyas propiedades a nivel industrial contribuyen a mejorar la textura, potencializar el sabor, y es la materia orgánica con mayor interés en los procesos fermentativos ya que sirven de fuente de energía para los microorganismos(Gómez,2022).

Industrialmente se utiliza en diferentes tipos de formas: lactosa cruda, fermentativa, farmacológica e industrial (Sánchez, 2019)

Biotecnología

La biotecnología es la ciencia de carácter multidisciplinario que como su nombre lo indica requiere de muchas ciencias para poder lograr los resultados propuestos(Córdova, 2020). Dentro de estas ciencias se tiene la química, biología, bioestadística, física, termodinámica,

genética, bioquímica, y otras ciencias, lo que permite investigar a fondo y presentar resultados fidedignos que permitan conseguir la efectividad de los procesos (Córdova-Albores et al., 2020).

Así la biotecnología es la ciencia que emplea organismos vivos, parte de ellos o sus derivados para elaborar nuevos productos y mejorar productos y procesos ya existentes (Renneberg & SüBbier, 2019).

La biotecnología ha sido implementada desde hace muchos años, cuando se elaboraban productos donde se daban procesos que daban paso a la creación de otros, tales es el caso de los productos lácteos fermentados, el vino, el pan, estos procesos fermentativos sin saberlo mejoraba las condiciones de una materia prima a un producto terminado con una vida útil más prolongada (Iberdrola, 2020)

La biotecnología trabaja bajo cinco ramas la humana, la vegetal, el animal, la ambiental y la industrial están proyectadas para combatir el hambre, las enfermedades, minimizar los problemas ambientales dinamizando el gasto de recursos, en aras de mejorar muchas de las condiciones en las que actualmente se están desarrollando los diferentes procesos (Córdova, 2020)

Tipos de biotecnología :La biotecnología se desarrolla bajo siete áreas de investigación

Biotecnología roja: Dedicada al sector de investigación de salud (elaboración de antibiótico, medicamentos, medicinas, vacunas , órganos artificiales)(Arana, 2022)

Biotecnología verde: Esta trabaja el sector agrícola en pro del tratamiento de plagas, mejora en el rendimiento de cultivos, resistencia a las condiciones adversas del clima (Arana, 2022)

Biotechnología blanca: Esta trabaja la elaboración de biocombustibles y tecnologías renovables más amigables con el medio ambiente . (Arana, 2022)

Biotechnología amarilla: En esta rama encontramos todos los estudios realizados en pro del procesamiento de alimentos, la elaboración de nuevos aditivos, nutraceúticos, probióticos conservantes y mejorantes de la producción. (Arana, 2022)

Biotechnología gris: Esta está enfocada a los procesos de biorremediación y recuperación del medio ambiente por medio de microorganismos. (Arana, 2022)

Biotechnología dorada: Esta trabaja estudiando la secuencia de las cadenas de ADN y como genéticamente se puede utilizar esta información para la creación de nuevos productos, aislar características específicas con el fin de mejorar y obtener los resultados esperados en una investigación. (Arana, 2022)

Tecnológicas biotecnológicas empleadas para valorizar el suero

Desde hace ya varios años se ha buscado la valorización del suero queso(Zhang et al., 2023). La biotecnología no se ha quedado atrás. La biotecnología a combinado el estudio de los microorganismos, los macronutrientes y el material genético para el desarrollo de nuevos productos, mejoras en las tecnologías y desarrollo de procesos que sean más amigables con el medio ambiente (Guadalupe et al., 2020). El suero es un sustrato biotecnológico ideal, no solo por la composición nutricional sino también por las cepas que alberga esta matriz alimenticia (Asas et al., 2021). Se han empleado diferentes tecnologías biotecnológicas para la valorización de suero queso como se puede ver en la **figura 1**. La biorrefinería hace referencia a la aplicación de procesos físicos, químicos y biotecnológicos para el tratamiento de residuos. Este consiste en el empleo de residuos agroindustriales para la obtención ya sea de productos o de

energía. Dentro de los productos obtenidos se tienen biocombustibles, bioempaques, biocompost, y energía en forma de calor, electricidad o vapor(Asunis et al., 2020). Dentro de las ventajas está el empleo de recursos renovables, la reducción de emisiones dañinas para el medio ambiente, la disminución del empleo de recursos no renovables(Encalada, 2019). A continuación, se hace referencia a las tecnologías biotecnológicas encontradas:

Fermentación Aerobia

La fermentación aerobia es el proceso por el cual las bacterias transforman un sustrato en presencia de oxígeno, este proceso requiere tener un control minucioso del tiempo de fermentación, concentración del sustrato y condiciones medioambientales que permitan el correcto desarrollo de las bacterias(Navas, 2020). La fermentación aerobia se realiza en tres etapas, la primera es la preparación o inoculación, seguida del proceso de fermentación y por último la recuperación de la biomasa y los bioproducto(Rosales, 2019). Cuando se emplea el suero queso se tienen muchas ventajas, ya que, por ser una excelente fuente de carbono, facilita el crecimiento de microorganismo benéficos que sintetizan metabolitos secundarios útiles para la industria como lo son las enzimas, bacteriocina, compuestos tensoactivos (Batistela, 2021).

Fermentación Anaerobia

La fermentación anaerobia es el proceso por medio del cual los microorganismos transforman un sustrato en ausencia de oxígeno (Asla, 2020). Dependiendo del tipo de fermentación y los microorganismos empleados se pueden obtener diferentes productos (Navas, 2020). Así de una fermentación láctica se puede obtener Ácido Láctico (Asla, 2020), de la fermentación acética

Ácido Acético(Salazar-Manzanares et al., 2023), de la fermentación alcohólica Etanol (Aráuz Solis, 2020), de la fermentación oscura Hidrógeno (Rao & Basak, 2021).

Digestión anaerobia

Este proceso consiste en la degradación de la materia orgánica a través del empleo de microorganismos en ausencia de oxígeno, que permite la obtención de metano y dióxido de carbono para producir biogás (Bella & Venkateswara Rao, 2022). El biogás es un combustible limpio utilizado para producir electricidad, que minimiza el impacto ambiental y permite tratar residuos como el suero, así como también ser fuente para la producción de fertilizantes como el digestato, útil para mejorar el suelo y los procesos agrícolas. La producción de biogás es útil para reducir la contaminación provocada por los gases de efecto invernadero y minimizar la contaminación de las fuentes hídricas al reducir las moléculas orgánicas que disminuyen los valores de DBO y DQO en los residuos generados (Schachenmayr, 2019).

El proceso se realiza a través de tres etapas, la primera es la hidrólisis, la segunda etapa es la acidogénesis-acetogénesis y, por último, la metanogénesis, que se van desarrollando a lo largo del proceso en el biodigestor (Sarkar et al., 2022). En esta fase actúan bacterias especializadas en el desarrollo de cada etapa. Así tenemos las bacterias hidrolíticas que ejecutan la primera etapa y convierten las moléculas grandes en moléculas más pequeñas.

Luego de esta etapa comienzan a actuar otro tipo de bacterias, las llamadas bacterias acidogénicas, que transforman las moléculas pequeñas recién obtenidas y las convierten en diferentes subproductos como lo son los ácidos orgánicos, ácidos grasos, alcohol, CO₂, H₂. Estas

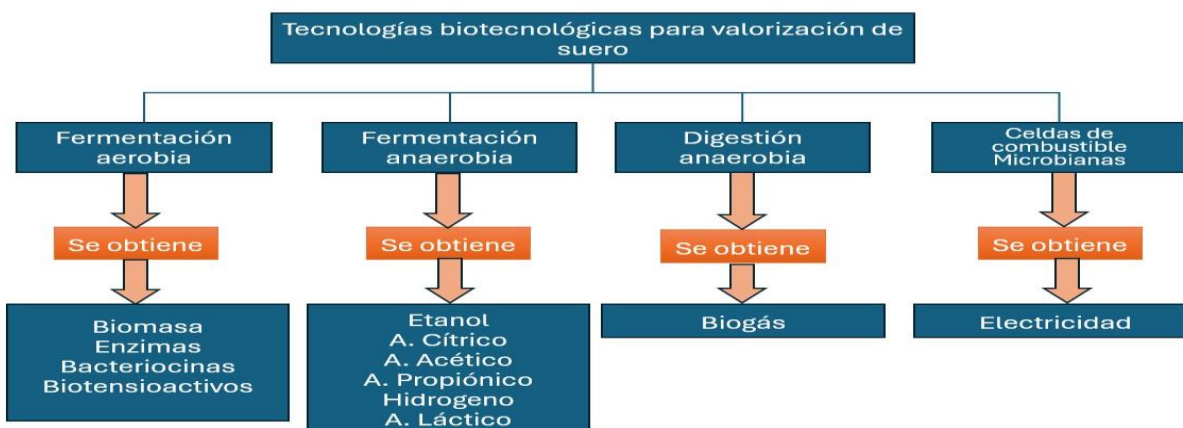
comienzan a desaparecer y a darles paso a las bacterias acetogénicas, que transforman los ácidos orgánicos, y alcoholes en acetato e hidrógeno para dar paso a la metanogénesis. La metanogénesis es la etapa que consiste en el trabajo desarrollado por las bacterias metanogénicas, que eliminan las bacterias acetogénicas para comenzar a producir gas metano por medio del consumo de H_2 y el CO_2 que encuentran en el medio. Finalmente, comienzan a actuar las bacterias sulforeductoras que se encargan de degradar los sulfatos presentes en la materia orgánica inicial, para producir una mezcla de gases tales como metano (60%), CO_2 (40%) y trazas de H_2S . Este biogás puede ser utilizado para accionar calderas, turbinas o motores para generar calor o electricidad (Treu et al., 2019).

Celdas de combustibles microbianas

Son dispositivos biotecnológicos empleados para generar energía. Esta metodología emplea el suero quesero y la acción de los microorganismos para convertir la materia orgánica en energía eléctrica. (Juliana et al., 2023)

Figura 1

Tecnologías biotecnológicas aplicadas en la transformación del suero y productos obtenidos



Fuente: Elaboración propia , 2024

Cienciometría

Es una disciplina académica dedicada al análisis y medición de la producción científica con miras a estudiar el avance y desarrollo de la ciencia y la sociedad (Peralta, 2023).

Bibliometría

Dentro de la cienciaometría se tiene la bibliometría, esta se encarga de estudiar por medio modelos matemáticos y análisis estadístico el desarrollo científico de un tema específico consignado en publicaciones científicas literarias, así como también a los autores que la producen, para facilitar la toma de decisiones, estudiar el comportamiento de un estudio científico a través de los años, y sus principales fuentes de información (Medina, 2019)

Análisis bibliométrico

Es un análisis bibliográfico relacionado con la bibliometría, el cual permite evaluar la producción científica por medio de indicadores bibliométricos. Una de las bases de datos más utilizadas son Scopus y Web of Science (WoS). Por medio de herramientas métricas como lo son Bibliometrix, VOSviewer ejecuta sus acciones para poder analizar los datos (González, 2021).

Aspectos relevantes del análisis bibliométricos

Una de las metodologías más empleadas en los últimos tiempos para facilitar los estudios investigativos es el análisis bibliométrico. El análisis bibliométrico brinda una herramienta para clasificar, caracterizar y analizar la producción literaria referente a un tema (Sanz Valero, 2022). En los últimos años, este análisis ha tomado mucha fuerza, ya que permite determinar el comportamiento científico de un tema a través del tiempo, las tendencias, los países donde más se investiga un tema, las instituciones con mayor producción literaria, los vínculos entre autores

y países, que permiten visualizar el estado actual del tema, así como también el explorar los temas poco estudiados, que sirvan de potencial para el desarrollo de nuevos productos, tendencias y el desarrollo de nuevas y mejores metodologías. Cuantas más referencias se tienen en el análisis bibliométrico, es mucho más fácil comprender o analizar un tema de investigación (González, 2021).

El análisis bibliométrico trabaja dos tipos de análisis, el análisis de tipo cuantitativo y el análisis de tipo cualitativo. Los primeros hacen referencia a aquellos análisis que arrojan cifras, en este se estudian datos como la cantidad de publicaciones que se han realizado en los últimos años, el número de publicaciones, el número de citas, el número de revistas, etc. El objetivo de este tipo de análisis es visualizar el impacto y el peso científico del estudio en cuestión (Espinosa et al., 2020). El análisis cualitativo hace referencia al estudio que se realiza para determinar temas emergentes, nuevas tendencias, los países con mayor producción científica, los autores que más han trabajado un tema, las revistas e instituciones que han colaborado con la publicación de la investigación. El análisis cuantitativo muestra una visión global del comportamiento de una investigación y el entorno, mientras que el análisis cualitativo permite comprender a fondo el comportamiento y las tendencias aplicadas con mayor y menor impacto. Las investigaciones deben ir encaminadas al trabajo de estos dos tipos de análisis con el fin de canalizar la información y poder hacer un análisis completo del comportamiento de la investigación.

Técnicas de análisis bibliométricos

Técnicas principales: Buscan hacer un análisis de desempeño, en donde se revisan indicadores como lo son: El número total de publicaciones, el número de autores, número de

publicaciones con la mayor cantidad de autores, el número de publicaciones con múltiples colaboraciones, el número de citas, principales colaboraciones, cocitación, copalabras, coautora .

Técnicas complementarias: Esta complementa la anterior y busca estudiar las métricas de redes. Así por medio de un mapeo de las principales palabras claves se busca estudiar la centralidad de las palabras, su relación con un conjunto de palabras y la identificación de clústeres. Los clúster son grupos de palabras que están comúnmente asociadas unas más que otras y permiten determinar las tendencias referentes a un tema y su relación con otros temas en desarrollo.

Herramientas necesarias para realizar un análisis bibliométrico

Para poder realizar el análisis bibliométrico es necesario el uso de bases de datos, una de las más empleadas es SCOPUS (Herrera-Feijoo et al., 2023). SCOPUS es una base de datos de referentes bibliográficos de la editorial Elsevier Science, esta se encuentra en vigencia desde el año 2004 y es muy utilizada gracias a su amplia cobertura en diferentes disciplinas educativas. También tiene un fácil acceso que permite que la información obtenida sea procesada de una manera eficiente por los programas empleados para el análisis bibliométrico. En Scopus se pueden encontrar 3700 revistas indexadas de Gold Open Access, alrededor de 210000 libros, documentos de congresos, más de 8 millones de documentos con acceso abierto, además de trabajar con más de 40 idiomas (Elsevier, 2020).

Dentro de los pasos para poder realizar el análisis bibliométrico se encuentran:

Bibliometrix

Uno de los programas empleados para realizar un análisis bibliométrico es Bibliometrix. Esta es una herramienta que permite realizar por medio de indicadores bibliométricos la evaluación estadística de la producción literaria, los países donde más se realizan publicaciones, el comportamiento de un tema específico a través del tiempo, las instituciones donde más se trabaja el tema, los autores más citados, las palabras con mayor número de ocurrencia, que permiten dar una visualización del tema que se desea investigar (Milanés Guisado, 2022).

Pasos metodológicos para el uso de Bibliometrix:

Es de vital importancia reconocer la base de datos que se va a trabajar, el tipo de formato y la extensión, todo con el fin de no tener inconvenientes en la lectura de los datos. En la **tabla 3** se puede visualizar esta información según la base de datos empleada.

Tabla 3

Formatos y extensiones empleadas por Bibliometrix para realizar análisis bibliométrico según la base de datos

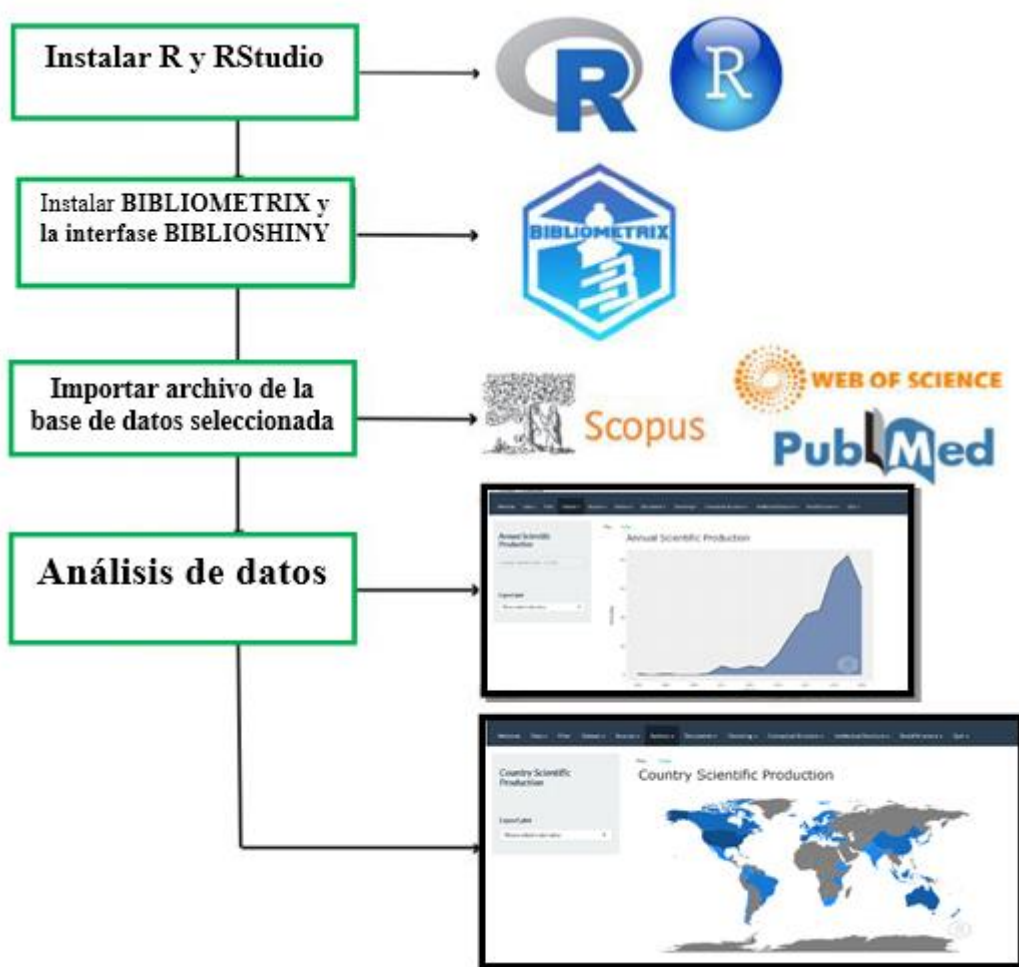
Base de datos	Formato	Extensión
Web of Science	BibTeX	Bib
	Plaintext	txt
	Ednote Desktop	ciw
Scopus	BibTeX	bib
	CSV export	txt
Dimensions	Bibliometrics mapping	csv
	Excel	xlsx
Pubmed	Plaintext	txt

Fuente: (Milanés Guisado, 2022)

A continuación, en la **figura 2**, se visualiza los pasos empleados para el análisis bibliométrico empleando la herramienta Bibliometrix.

Figura 2

Metodología empleada para realizar análisis bibliométrico utilizando Bibliometrix.



Fuente: Elaboración propia , 2024

VOSviewer

Otra herramienta que presenta gran uso en los análisis bibliométricos es el programa VOSviewer. Esta es una herramienta útil para el mapeo bibliográfico empleado en el análisis bibliométrico, que permite crear y visualizar redes bibliométricas. Una de sus mayores aplicaciones, es el poder visualizar las tendencias de un tema específico en un tiempo de terminado (Jan van Eck & Waltman, 2023)

Pasos metodológicos para el uso de VOSviewer

Para poder construir las redes bibliométricas, se requiere un tipo de formato y una extensión, teniendo presente la base de datos que se va a trabajar. Así en la **tabla 4** podemos ver esta información dependiendo de la base de datos con la que se va a desarrollar el análisis bibliométrico

Tabla 4

Formatos y extensiones empleadas por VOSviewer para realizar análisis bibliométrico según la base de datos

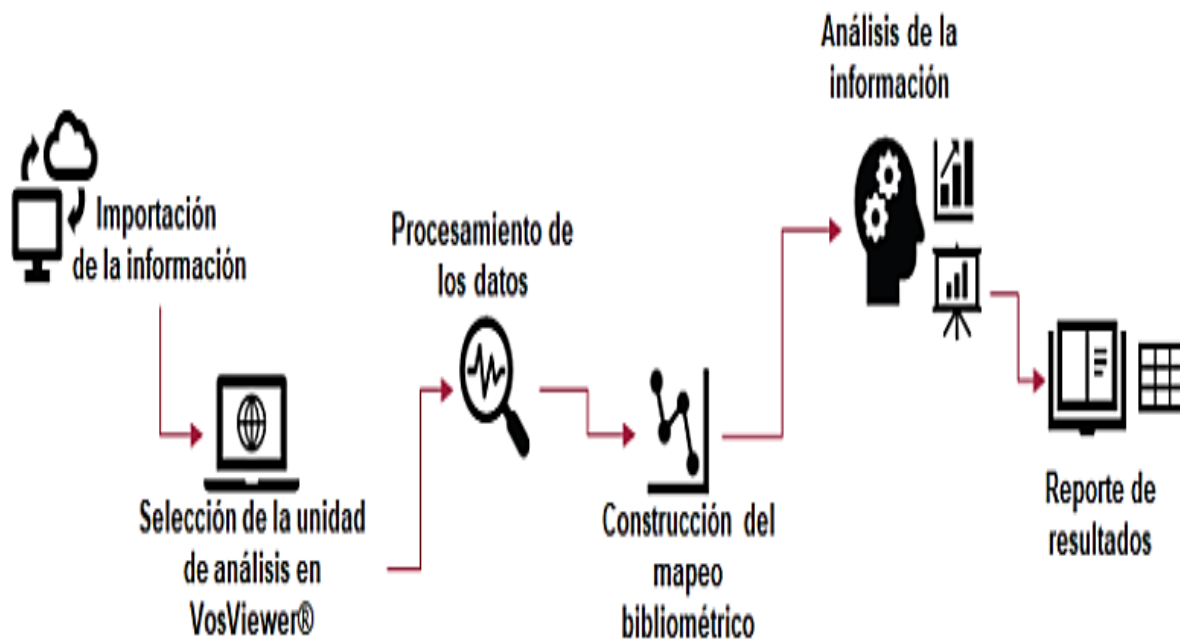
Base de datos	Formato	Extensión
Web of Science	BibTeX	Bib
	Plaintext	txt
Scopus	CSV export	txt
Dimensions	CSV export	csv
Pubmed	Plaintext	txt

Fuente: (Milanés Guisado, 2022)

A continuación, en la **figura 3**, se visualiza los pasos empleados para el análisis bibliométrico empleando la herramienta VOSviewer.

Figura 3

Metodología empleada para realizar mapeo bibliométrico



Fuente: (Medina, 2019)

Marco legal

Normatividad internacional referente al suero

CODEX STAN 289-1995

Esta reglamentación establece los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos necesarios para la comercialización y procesamiento del suero en polvo y del suero ácido en polvo, destinados para el consumo directo o para el empleo de este en diferentes matrices alimenticias. En esta reglamentación se especifican las condiciones en las que se debe encontrar la leche para la fabricación de suero lácteo, las condiciones higiénicas de procesamiento, el envase y la etiqueta de este tipo de productos (CODEX, 2003).

A nivel internacional, cada país establece unas reglamentaciones referentes al uso y procesamiento del suero lácteo, pero todas enfocadas a la inocuidad, sanidad y procesamiento para la incorporación del suero en otros productos (Lagrange, 2020).

Normatividad Colombiana relacionada con el suero quesero

Resolución 616 del 2006

La resolución 616 del 2006 establece los requisitos que debe cumplir la leche para consumo humano y la prohibición del empleo de suero lácteo como adición en cualquier fase de la cadena productiva de la leche (Ministerio de la Protección Social, 2006)

Resolución 2997 del 2007

Esta resolución colombiana reglamenta las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas que debe cumplir el suero lácteo en polvo como materia prima en la elaboración de productos alimenticios. Esta resolución establece requisitos técnicos para asegurar la calidad e inocuidad de

los productos lácteos en el país, incluye aspectos sanitarios, y de vigilancia y control de los establecimientos encargados de procesar empacar y comercializar suero en polvo (Ministerio de salud y de protección social, 2007)

Resolución 1031 del 2010

Esta resolución colombiana, establece una modificación para la Resolución 2997 del 2007, en la cual se modificó los requisitos fisicoquímicos para la lactosa y las cenizas del lactosuero en polvo, con el fin de tener un mejor empalme con los indicadores reportados a nivel internacional (Ministerio de salud y de protección social, 2010).

NTC 5098:2002

Esta norma técnica colombiana aplica para suero en polvo y sueros ácidos y los criterios generales de aceptación y de rechazo de este producto a nivel fisicoquímico y microbiológico(ICONTEC, 2002).

Metodología

Establecimiento de las preguntas de investigación y extracción de la información

Para el desarrollo de la presente revisión documental, los objetivos específicos se convirtieron en preguntas con el fin de facilitar la búsqueda y la selección de la información a trabajar. Así las cuatro preguntas de investigación estarían planteadas en la **tabla 5**:

Tabla 5

Preguntas de investigación Resarce Quistiones (RQ)

RQ	Preguntas de investigación
RQ1	¿Cuál es la panorámica de la producción de suero quesero a nivel a nacional e internacional?
RQ2	¿Cuál es la caracterización de la producción literaria, en cuanto a volumen de producción por cantidad de documentos y citas, producción científica por países, principales revistas?
RQ3	¿Cuáles son los campos de acción y tendencias tecnológicas, que permitan impulsar el empleo de la biotecnología para potencializar el suero quesero ?
RQ4	¿Qué análisis se puede concluir luego de revisar las tendencias encontradas y desarrolladas en los últimos años ?

Fuente: Elaboración propia , 2024

Para la resolución de la pregunta uno (**RQ1**) se tuvo en cuenta la producción de leche, queso y suero a nivel nacional e internacional por año. Para el desarrollo de este objetivo se requieren los datos de las diferentes entidades que se encargan de recolectar la información a nivel nacional e internacional, se utilizaron motores de búsqueda como Google académico y las

páginas de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), European Whey Processors Association (EWPA), Federación Colombiana de Ganadero (FEDEGAN), Asociación Colombiana de Procesadores de la Leche (ASOLECHE), Portal lechero Latinoamericano, Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Asociación Nacional de Productores de Leche (ANALAC).

Para poder desarrollar la pregunta dos (**RQ2**), se procedió a realizar una recopilación de la información a través de criterios de aceptación, criterios de rechazo, así como también las ecuaciones de búsqueda, como se puede ver en las tablas 6, 7 y 8 respectivamente. La base de datos bibliográfica escogida para la recopilación de la información fue SCOPUS, encontrada en la biblioteca de la universidad UNAD, ya que esta posee más de 23000 revistas científicas, más de 210000 libros, 9.8 millones de artículos, 4 millones de registros de patentes, de los cuales el área de ciencia y tecnología tiene gran acogida por el impacto, el seguimiento y la visualización de la investigación a través de los años (Elsevier, 2020).

Tabla 6

Criterios de inclusión (CI)

CI	Criterios de inclusión
CI1	Artículos originales y/o artículos de revisión y capítulos de libros
CI2	Artículos publicados en el periodo comprendido entre 2012 – 2024
CI3	Todos los idiomas
CI4	Filtro por palabras, tomando como palabras clave Suero de queso, biotecnología, valorización y el operador booleano AND
CI5	Que se encuentre contenido en el título en el resumen y en la palabra clave de los documentos

Fuente: Elaboración propia , 2024

Tabla 7*Criterios de exclusión (CE)*

CE	Criterios de exclusión
CE1	Artículos duplicados
CE2	Artículos cortos y trabajos presentados en congresos
CE3	Los artículos publicados antes de 2012

Fuente: Elaboración propia , 2024

Tabla 8*Ecuaciones de búsqueda*

Palabras de búsqueda utilizadas	Ecuaciones de búsqueda	Resultados de búsqueda
Cheese whey, biotechnology, valorisation (Suero de queso, biotecnología, valorización)	TITLE-ABS-KEY ("cheese whey" AND biotechnology AND valorisation)	441 documentos encontrados

Fuente: Elaboración propia , 2024

A los resultados obtenidos de esta ecuación de búsqueda se le aplicó el análisis bibliométrico por medio del programa Bibliometrix, así como también se establecieron los indicadores bibliométricos para el tema general trabajado, como lo fue producción literaria tanto a nivel nacional como internacional, los países donde más se encuentra producción literaria, principales revistas, red de coocurrencia de palabras, que permitan dar una mayor visualización y caracterización de las tendencias desarrolladas referente al aprovechamiento del suero queso en procesos biotecnológicos.

Para el desarrollo de la pregunta de investigación **(RQ3)** ¿Cuáles son los campos de acción y tendencias tecnológicas, que permitan impulsar el empleo de la biotecnología para potencializar el suero quesero? se procedió a crear los mapas tecnológicos por medio del programa VOSviewer y el archivo de hoja electrónica con la extensión CSV reportado por SCOPUS, para encontrar las tendencias referentes al aprovechamiento del suero quesero por medio de procesos biotecnológicos.

Finalmente, para el desarrollo de la pregunta cuatro (RQ4), se realizó un análisis crítico de las ventajas y las desventajas de las técnicas biotecnológicas que utilizan como base del proceso suero quesero, partiendo de la información obtenida en el desarrollo de la pregunta de investigación **(RQ3)** y los artículos más citados en cada una de las tendencias.

Los resultados obtenidos se describen en capítulos, uno por cada objetivo propuesto.

Resultados

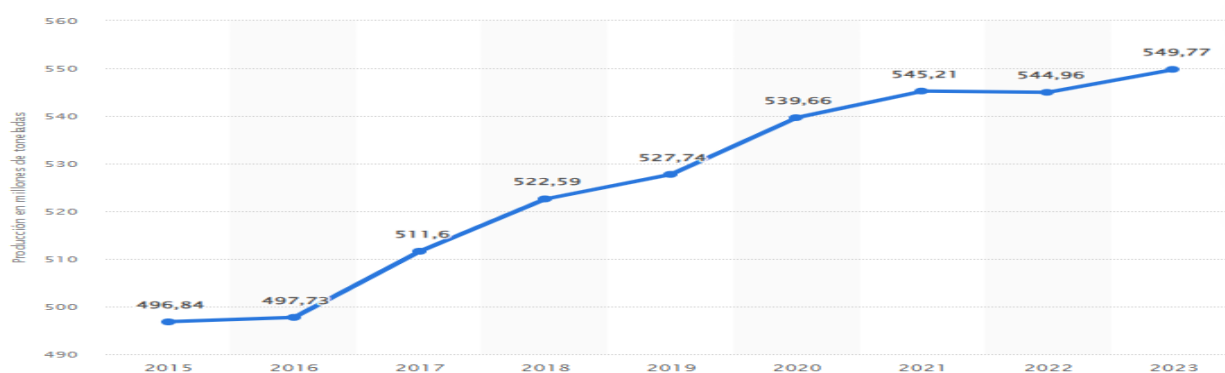
"Diagnóstico de la producción de suero quesero a nivel nacional e internacional: una revisión del panorama actual"

Panorámica de la producción de leche a nivel nacional e internacional

A nivel mundial, la leche se encuentra como uno de los productos de mayor importancia en el sector agropecuario y económico de un país. Es un producto importante dentro de la seguridad alimentaria y contribuye a la generación de empleo de los diferentes gremios que hacen parte del desarrollo del sector lácteo (OCDE-FAO, 2023). Dentro del balance entregado en el año 2023, se reportó a nivel mundial un volumen de producción de 549,77 millones de toneladas métricas de leche (USDA, 2023), que marca un ascenso con respecto al año 2022, como se puede ver en la figura 4.

Figura 4

Producción de leche bovina a nivel mundial 2015-2024



Fuente: (USDA, 2024)

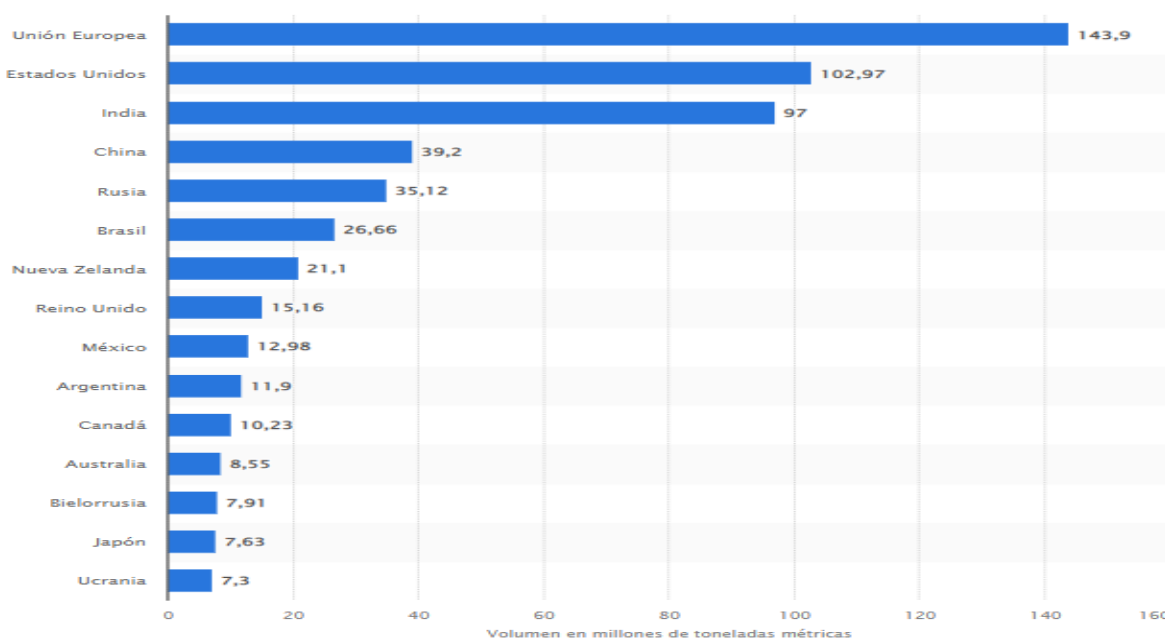
La producción mundial de leche se encuentra centralizada en más de 150 millones de hogares en el mundo (FAO, 2021), aspecto que potencializa el sector agropecuario y vincula al

pequeño productor donde la leche es el insumo de las grandes industrias lácteas, como se puede ver en los países en desarrollo (OCDE-FAO, 2023).

En la **figura 5** se muestran los principales productores de leche en el mundo, donde se puede evidenciar que la lista la encabezan la Unión Europea, Estados Unidos y la India, esto gracias a las excelentes condiciones climáticas para el desarrollo del ganado lechero, la variedad de razas, la tecnificación e investigación industrializada, que potencializa la producción de leche y favorece los procesos de exportación de la misma (IFCN, 2020).

Figura 5

Producción de leche en el mundo a 2022



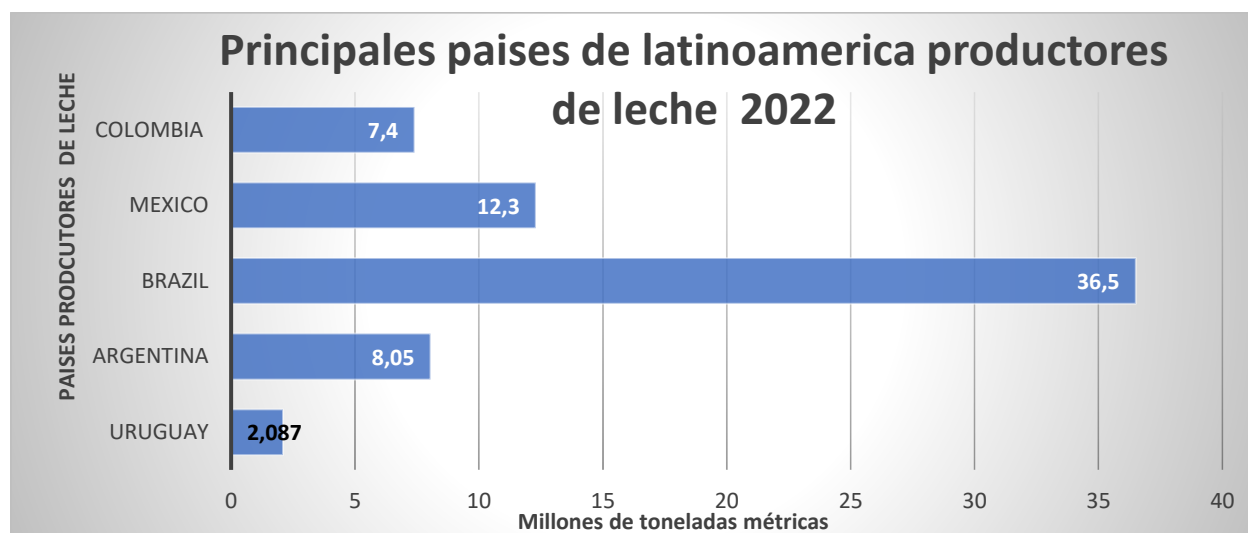
Fuente: (OCDE-FAO, 2023)

En cuanto a Latinoamérica se encuentran países como Brasil, México, Argentina, Colombia y Uruguay como principales productores de leche en el 2022.

Como se puede ver en la **figura 6**, Colombia se encuentra dentro de los primeros productores de leche en Latinoamérica, con un volumen de producción de 7.4 millones de toneladas métricas para el 2022.

Figura 6

Producción de leche en países latinoamericanos 2022

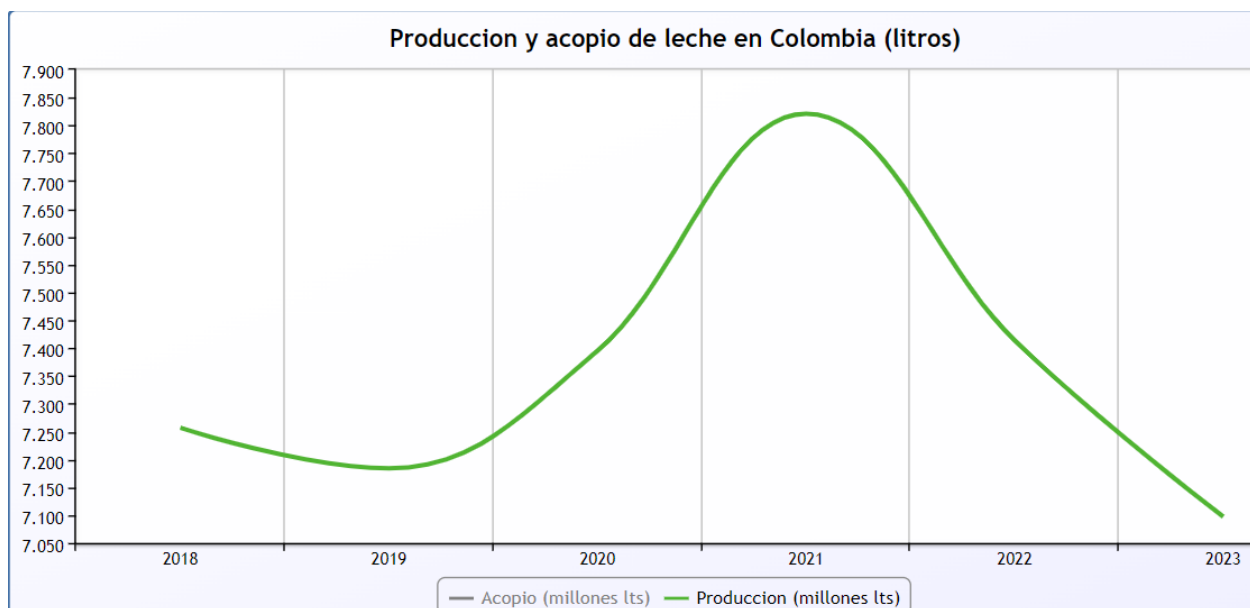


Fuente: Elaboración propia con datos establecidos por la USDA, Portalechero, FEDEGAN, 2022

No obstante, y comparado con el año anterior se presenta una disminución en la producción ya que se registran unos valores de 7.097 millones de toneladas métricas en el 2023(FEDEGAN, 2022) como se puede ver en la **figura 7**.

Figura 7

Producción de leche en Colombia 2013-2024



Fuente: FEDEGAN, 2024

A nivel mundial, la producción de leche contempla varias especies, no obstante, en Colombia, el ganado vacuno es la principal fuente de este suministro en el país, y es uno de los insumos más importantes del sector pecuario, que posiciona a la leche como un producto con un margen de representación del 24.3 % del PIB agropecuario y un 1.5 % del PIB nacional (DANE, 2023). Este importante sector genera 700000 empleos en toda la cadena productiva y requiere tecnificación, proyectos de investigación y apoyo al pequeño productor para mejorar la competitividad con otros países.

Según el Grupo de Estudios Económicos (GEE) y la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), reportan que los departamentos con mayor producción de leche son Antioquia, Cundinamarca y Boyacá. A continuación, en la **tabla 9** se reporta en promedio la cantidad de leche que producen los principales departamentos del país.

Figura 8

Principales departamentos productores de leche en Colombia

Departamento	Producción de leche cruda en litros por día	Participación
Antioquia	3.750.049	19,0%
Cundinamarca	2.954.455	15,0%
Caquetá	1.639.923	8,3%
Córdoba	1.346.227	6,8%
Boyacá	1.183.975	6,0%
Magdalena	928.131	4,7%
Cesar	905.255	4,6%
Nariño	809.044	4,1%
Meta	797.645	4,0%
Santander	638.642	3,2%

Fuente: GEE-SIC, con base en datos reportados por MADR, 2021

Existen varios factores que influyen en el avance a nivel competitivo de la producción de leche en Colombia con respecto a los otros países. Uno es que se trabaja con ganado de doble propósito o especializado en carne, mientras que en otros países las razas lecheras son destinadas específicamente para leche. Otro factor que se debe tener en cuenta es la adaptación de las razas a los diferentes territorios, la cual en algunas ocasiones no es la mejor para la especie. En tercer lugar, los procesos tecnológicos implementados para la extracción de leche son muy retrógrados, con respecto a otros países donde las tecnologías dinamizan el proceso aumentando la productividad. En cuanto a la productividad de las razas empleadas, se encuentran registros muy bajos comparados con otros países, donde, por ejemplo, en Argentina una res produce 20 litros en un día, comparado con las razas colombianas que generan 6.36 litros o, en el peor de los casos, menos de dos litros por día (MADR, 2022).

En Colombia, la producción lechera se encuentra centralizada en pequeños, medianos y grandes productores de leche. En el país se estima que cerca de 320000 productores son los encargados de la producción anual de leche en el país. Esta leche está un 45 % destinada a

empresas registradas, encargadas de la elaboración de productos lácteos, y el otro 55 % se distribuye dentro de la informalidad para la elaboración de quesos, productos concentrados, productos fermentados, demarcando un alto porcentaje del que no se tiene información registrada (Pinilla, 2022). El sector lácteo colombiano consta de seis actores dentro de la cadena productiva, los productores primarios, los encargados de los procesos de acopio, los encargados de la transformación de la leche cruda, los comercializadores del producto final, los diferentes proveedores y, finalmente, los consumidores (Montoya, 2021). Uno de los eslabones más estudiados es el referente al de la transformación de la leche, en el cual se desarrollan una gama amplia de productos como lo son el queso, la leche pasteurizada, condensada, leche en polvo, leche instantánea, leches ácidas o fermentadas, crema acidificada, leches saborizadas, dulces de leche, mantequilla, entre otros (FAO-CODEX, 2011).

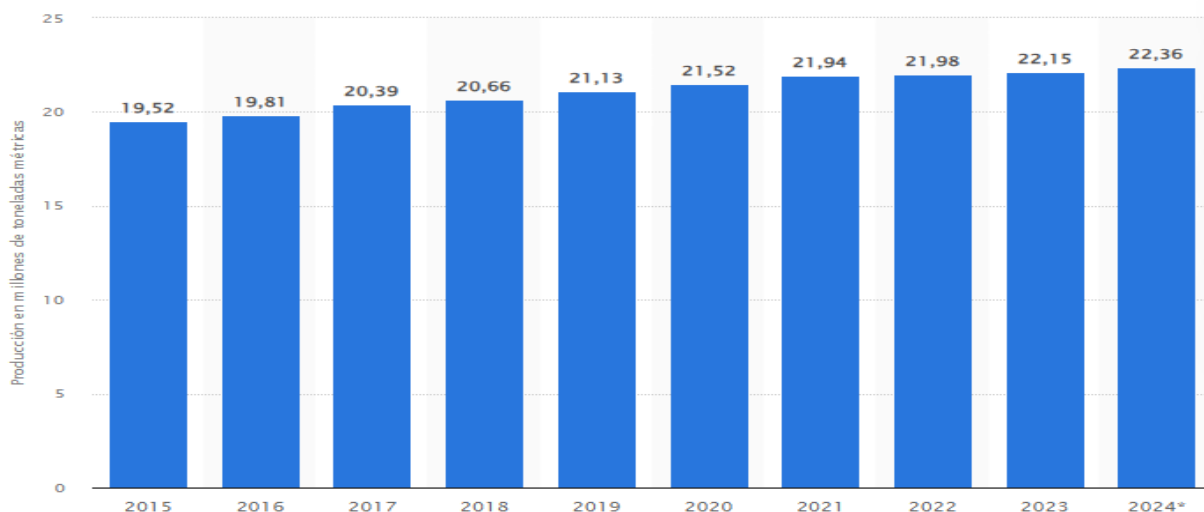
Para poder lograr un aumento en la productividad, se deben potencializar todos estos eslabones, identificar las oportunidades tanto del exterior como del interior, fomentar la innovación, fortalecer los convenios, apoyar al gremio educativo en proyectos de investigación que potencialicen el valor agregado de los productos y mejoren la tecnificación de cada uno de los eslabones de la cadena productiva láctea.

Producción de queso a nivel mundial

Dentro de los productos lácteos elaborados, el queso es uno de los más importantes a nivel mundial. Se estima que en 2023 se produjeron 22.2 millones de toneladas de queso según la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas FAO, como se puede ver en la **figura 8**. En esta se puede ver un incremento de este producto a nivel mundial (FAOSTAT, 2024).

Figura 9

Producción de queso a nivel mundial 2015-2024

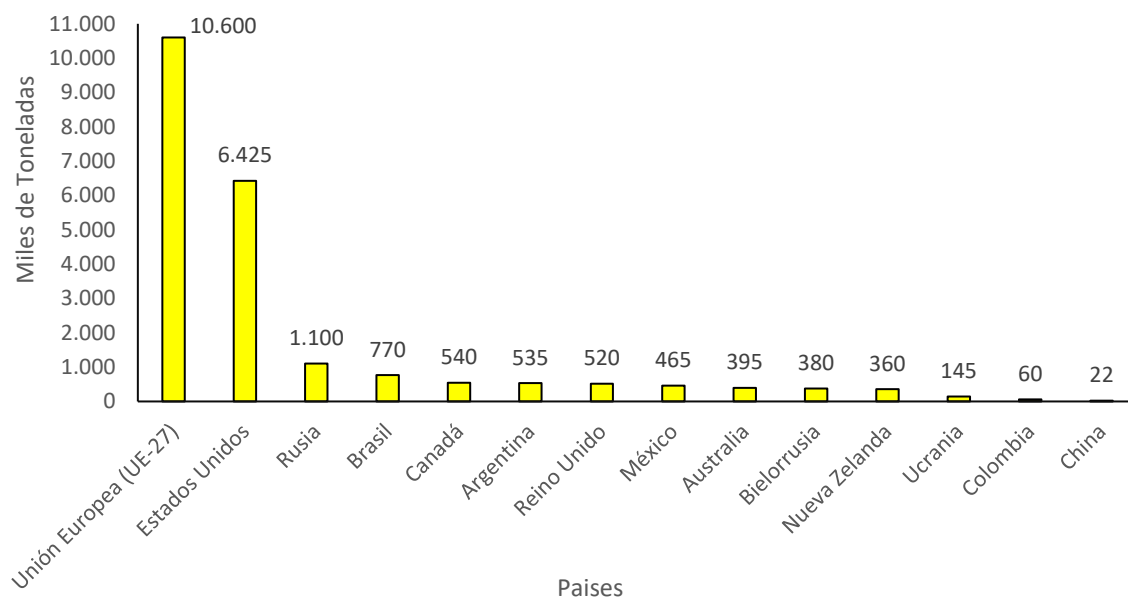


Fuente: FAOSTAT, 2024

Los mayores productores de queso son la Unión Europea (Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, República Checa, Rumanía, Suecia); seguido de Estados Unidos, como se puede ver en las **figuras 9 y 10**. En Latinoamérica se tienen como principales productores a Brasil, Argentina y México. Aunque la producción colombiana no es tan considerable como en los anteriores países (un promedio de 60 mil toneladas anuales), sí se encuentra entre los principales productores de queso a nivel latinoamericano.

Figura 10

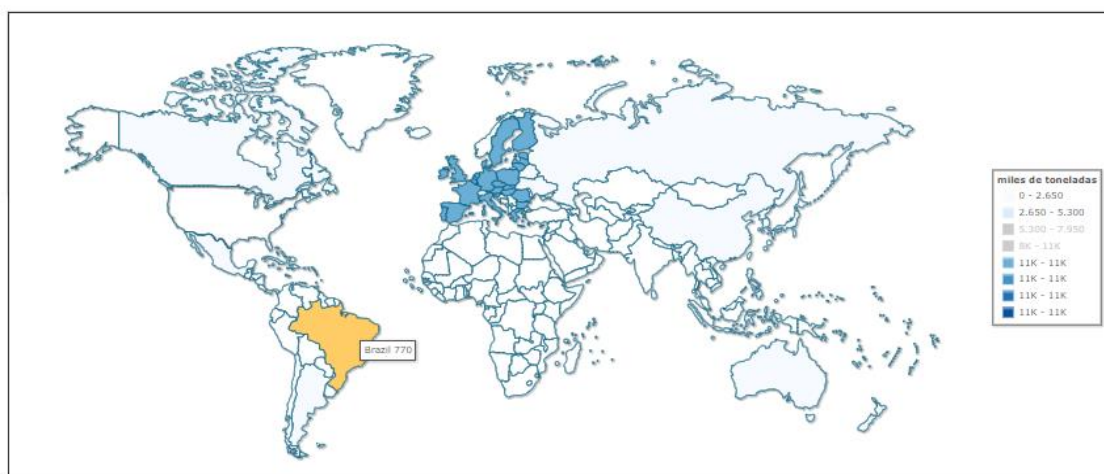
Principales países productores de queso a nivel mundial para el año 2023



Fuente: USDA, 2023

Figura 11

Principales países productores de queso a nivel mundial para el año 2023



Fuente: USDA, 2023

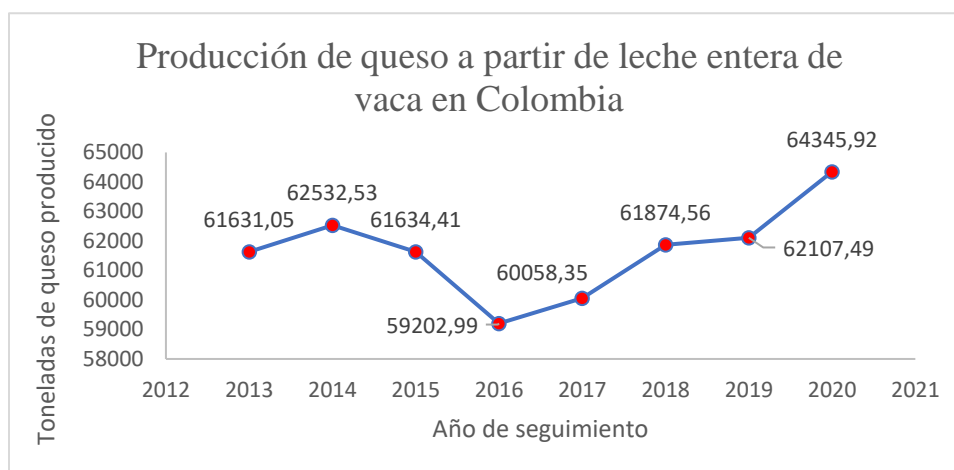
El queso es elaborado con diferentes tipos de leche, así como también la tecnología aplicada brinda un sin número de productos, con variedad de sabores, texturas y aromas que facilitan su adaptación en diferentes países favoreciendo la dinámica productiva de este producto y categorizándose como uno de los principales (Tapia Cruz & Iturrieta Catán, 2020)

Producción de queso en Colombia

Colombia produce 12 variedades de queso, el queso campesino, el queso costeño, el queso antioqueño, el queso nariñense, cuajada, queso doble crema, quesillo tolimense, quesillo huilense, queso pera, quesadillo, queso paipa y queso caqueteño (SOFEX AMERICAS, 2017). Dentro de los anteriores, el 47 % de la producción se centraliza en los quesos frescos, que tienen gran tendencia en el mercado del país. En la mayoría de los departamentos se emplea leche de vaca para su producción. En la figura 11 se puede observar la producción de queso a partir de leche entera de vaca en los últimos años en Colombia.

Figura 12

Producción de queso en Colombia



Fuente: FAOSTAT, 2023

Volúmenes de producción de suero quesero a nivel nacional e internacional

La producción mundial de suero ha aumentado en los últimos años. Se encuentran autores que reportan volúmenes aproximados de 180 millones de toneladas métricas de suero para el año 2021 (Ergasheva et al., 2023a), 190 millones de toneladas en el 2022 (Buchanan et al., 2023) y 200 millones de toneladas métricas de suero por año para el año 2023 (Bintsis & Papademas, 2023), ratificando el aumento anual de este subproducto. Los países que registran mayor producción de suero son Estados Unidos, Alemania, Francia, Países Bajos e Italia, así como también potencializan su uso empleándolo como suministro de la industria farmacéutica, cosmética, en alimentación animal y en la industria de alimentos (EWPA, 2020). Esta valorización ha aumentado en los últimos años gracias a las altas propiedades que tienen los constituyentes químicos de este residuo y la tecnología desarrollada en estos países (OEC, 2022b). El aprovechamiento del suero quesero a nivel internacional varía según el país y la región, pero en general se estima que alrededor del 50% del suero producido por la industria quesera se utiliza para fines alimentarios y no alimentarios (ITACyL, 2023) y lo restante se desecha (Iniesta, 2020b).

Dentro de los productos que más se obtienen a nivel mundial para potencializar el suero quesero, se tienen la proteína sérica, con una producción de 1,5 millones de toneladas, y la lactosa, con una producción de 8,6 millones de toneladas (Ergasheva et al., 2023b).

En la **figura 13** podemos observar los principales países exportadores de suero lácteo

Figura 13*Principales países exportadores de suero lácteo*

Top 10 Exportadores de Suero				
<i>Source : IHS Markit/GTA</i>		<i>Qty in Tonnes</i>		
	2 021	2 022		
EU*	173 776	148 028	↓	- 15%
United States	140 381	131 780	↓	- 6%
Turkey	27 302	14 379	↓	- 47%
Belarus	21 322	18 430	↓	- 14%
Canada	17 626	18 676	↑	+ 6%
Argentina	9 755	8 931	↓	- 8%
Australia	9 977	7 619	↓	- 24%
United Kingdom HMRC	5 262	8 363	↑	+ 59%
Chile	4 197	3 992	↓	- 5%
New Zealand	3 555	4 536	↑	+ 28%

Fuente: (OCLA, 2022)

Como se puede ver en la **figura 13**, los países de Unión Europea y Estados Unidos son los principales exportadores de suero lácteo, y han sido países interesados en potencializar este producto debido a la elevada producción de quesos, y por ende la generación de elevadas cantidades de suero como se puede ver en la **figura 9**.

En Colombia se estima que se producen 540000 toneladas métricas de suero, donde los mayores productores serían los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Valle del Cauca y Santander (FAOSTAT, 2023). Dicha estimación es relativa, ya que la mayoría de las empresas se encuentran dentro del sector informal y es complejo cuantificar cuánto suero en realidad produce el país y el destino final del mismo (Martínez, 2022).

En los últimos años se ha buscado valorizar este residuo. En el país se ha invertido en algunas tecnológicas y procesos investigativos, pero todavía hace falta potencializarlo, con el fin de generar nuevas alternativas. Como primera instancia, el país importa bastante cantidad de este producto, teniendo un gran volumen de producción que podría satisfacer la demanda (OEC, 2022b). Dentro de las importaciones que realiza el país, el suero es el segundo producto más importado, luego de la leche en polvo entera y la descremada (Martínez, 2022), lo que deja entre dicho que no se produce la cantidad suficiente en el país o que los precios de este producto ya tratado son muy costosos comparándolos con los que ofrece el mercado externo. Se deben generar campañas para minimizar el impacto negativo que tiene el suero, así como también el estado debe invertir en investigación y tecnificación, ya que este residuo tiene un alto valor nutricional, cuyos constituyentes podrían potencializar en gran medida diferentes industrias en el país.

Caracterización bibliométrica referente a potencialización de suero quesero por medio de procesos biotecnológicos

Análisis bibliométrico

Se realizó una revisión bibliográfica que permita dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la caracterización de la producción literaria, en cuanto a volumen de producción por cantidad de documentos y citas, producción científica por países, principales revistas?

Para poder dar respuesta a esta pregunta se utilizó Scopus como base de datos. Las palabras de búsqueda utilizadas fueron cheese whey, biotechnology, valorisation (suero de queso, biotecnología, valorización).

La ecuación de búsqueda inicial

Ecuación de búsqueda

```
TITLE-ABS-KEY ( "cheese whey" ) AND biotechnology AND valorisation AND  
PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) OR LIMIT-  
TO ( DOCTYPE , "re" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ch" ) )
```

441 documentos encontrados

Se realizó análisis bibliométrico empleando SCOPUS y Bibliometrix. A partir de estas herramientas se obtuvieron las diferentes gráficas para su respectivo análisis.

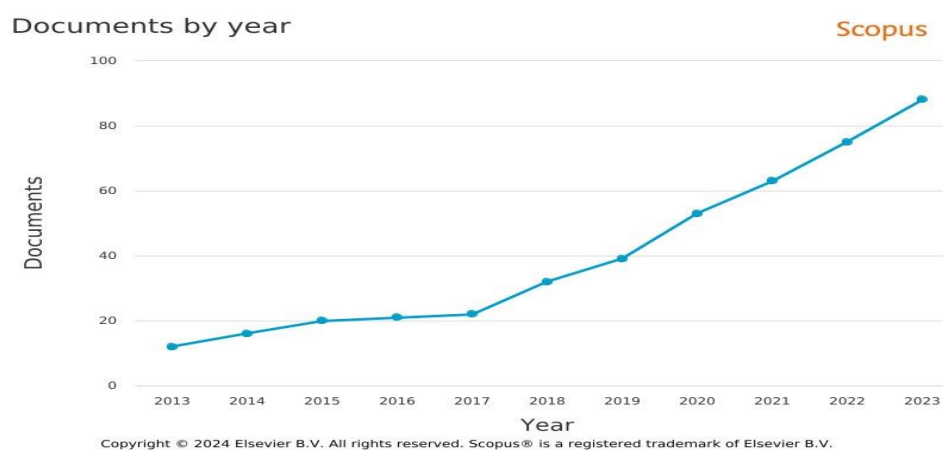
Según los estudios realizados, en los últimos años se ha presentado una tendencia marcada en la investigación de la valorización del suero quesero empleando técnicas

biotecnológicas, como se puede ver en la figura 13. Así como también se observa cómo Colombia presenta un registro bajo comparado con los otros países.

Partiendo de los 441 documentos registrados por SCOPUS, la producción científica en los últimos 10 años ha tenido un crecimiento anual del 22.05 %, mostrando un crecimiento exponencial, donde se evidencia el aumento de los procesos investigativos y el interés por el tema relacionado con el uso biotecnológico para potencializar el suero quesero, ya sea por la mitigación del problema ambiental, el problema productivo o con la finalidad de aprovechar todo el potencial que tiene el suero para el desarrollo de nuevas tecnologías y productos que permitan obtener la valorización del suero quesero.

Figura 14

Resultado de los estudios realizados para potencializar el suero quesero empleando biotecnología desde el 2013 al 2023



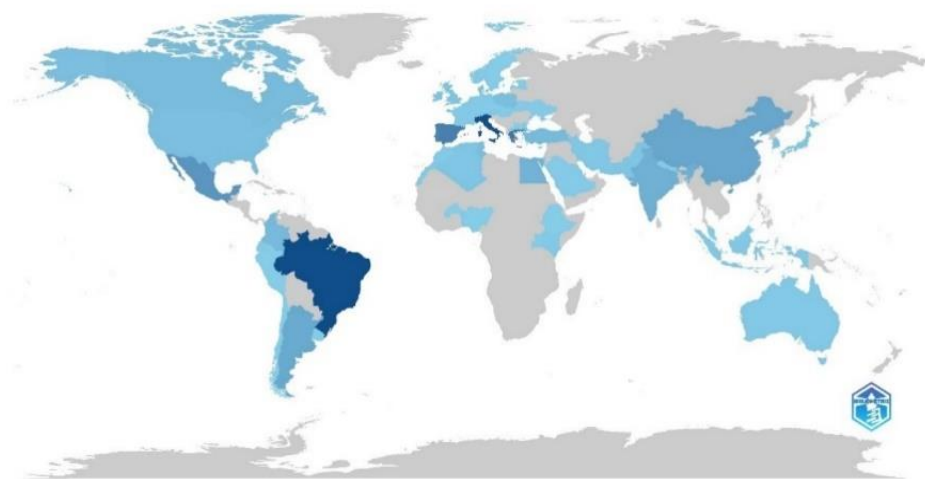
Fuente: Elaboración propia empleando SCOPUS, 2024

En el mapa expuesto en la figura 14, se puede evidenciar el comportamiento de la producción científica por la intensidad del color azul, entre más intenso sea este, mayor producción científica se genera en ese país. Es así como Brasil y Italia lideran dicho indicador, mostrando su interés investigativo, como se puede ver en la figura 15. Lo anterior puede ser debido al alto volumen de suero proveniente de la producción de queso que se genera en dichos países (USDA 2023).

Figura 15

Mapa de producción científica referente a la valorización de suero quesero por procesos biotecnológicos

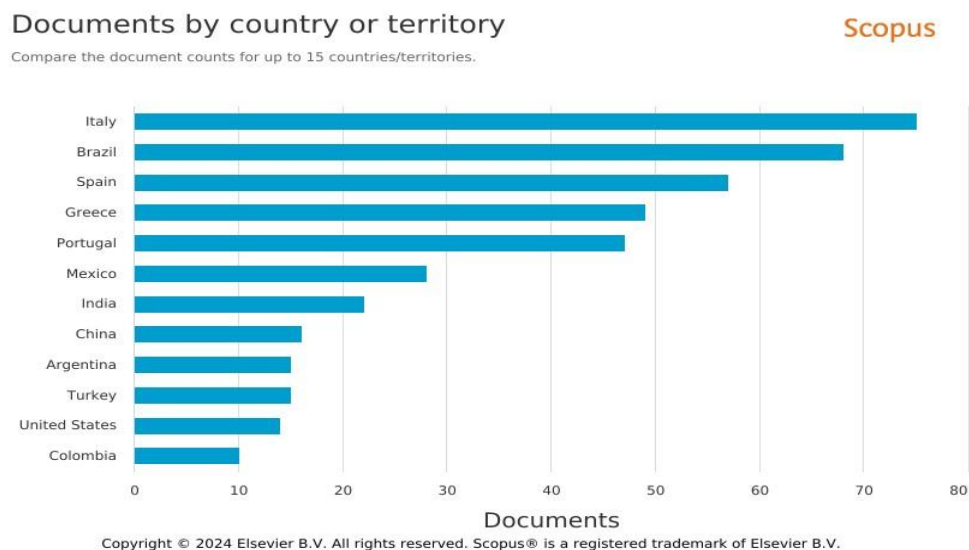
Country Scientific Production



Fuente: Elaboración propia empleando Bibliometrix, 2024

Figura 16

Principales países donde se evidencia producción científica referente a la valorización de suero quesero por procesos biotecnológicos



Fuente: Elaboración propia empleando SCOPUS, 2024

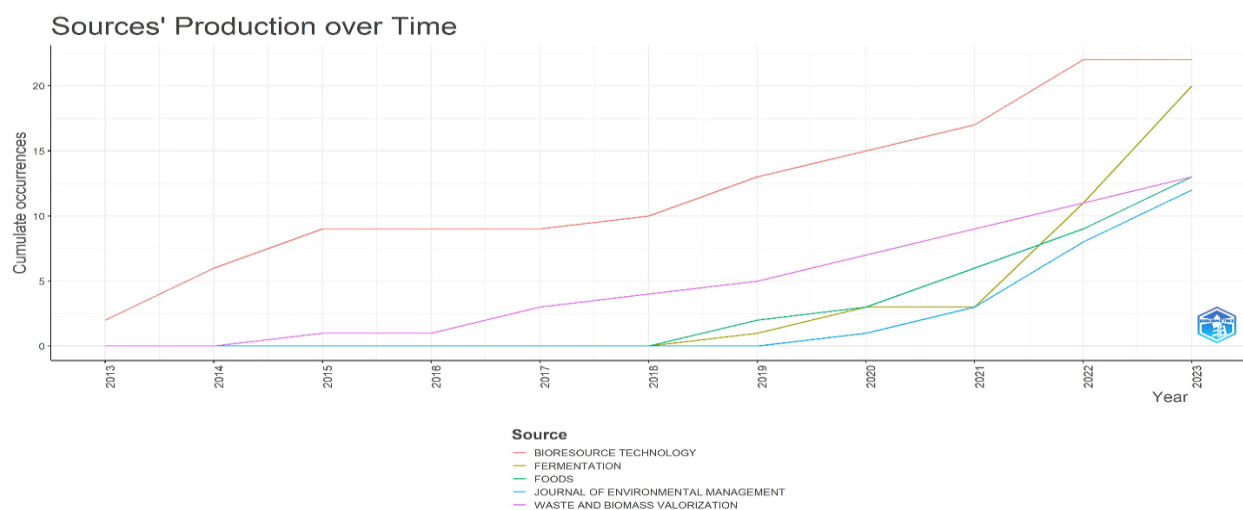
En cuanto al indicador de las fuentes que más han publicado en los últimos años, encontramos que las revistas más relevantes en cuanto a la cantidad de publicaciones son, en orden ascendente de publicación, Bioresource Technology (22 publicaciones), Fermentation (21 publicaciones), Foods (13 publicaciones), Waste And Biomass Valorization (13 publicaciones), Journal Of Environmental Management (12 publicaciones). En la figura 16 se puede ver el comportamiento de las publicaciones hechas en las respectivas revistas a través de los años de segmentación del estudio (2013-2023). Dentro de las revistas donde se publican más artículos relacionados con la valorización del suero se encuentra la Editorial Elsevier, dando mayor soporte a la base de datos seleccionada. También se encontró que las revistas donde mayor se

generan publicaciones se encuentran en los Países Bajos, uno de los sectores donde más se produce queso y, por ende, suero (OEC, 2022b).

Esta información es de gran utilidad para utilizar la fuente adecuada a la hora de profundizar el tema de interés.

Figura 17

Comportamiento de las publicaciones científicas en las revistas más importantes en los últimos 10 años referentes a la potencialización del suero quesero



Fuente: Elaboración propia empleando Bibliometrix, 2024

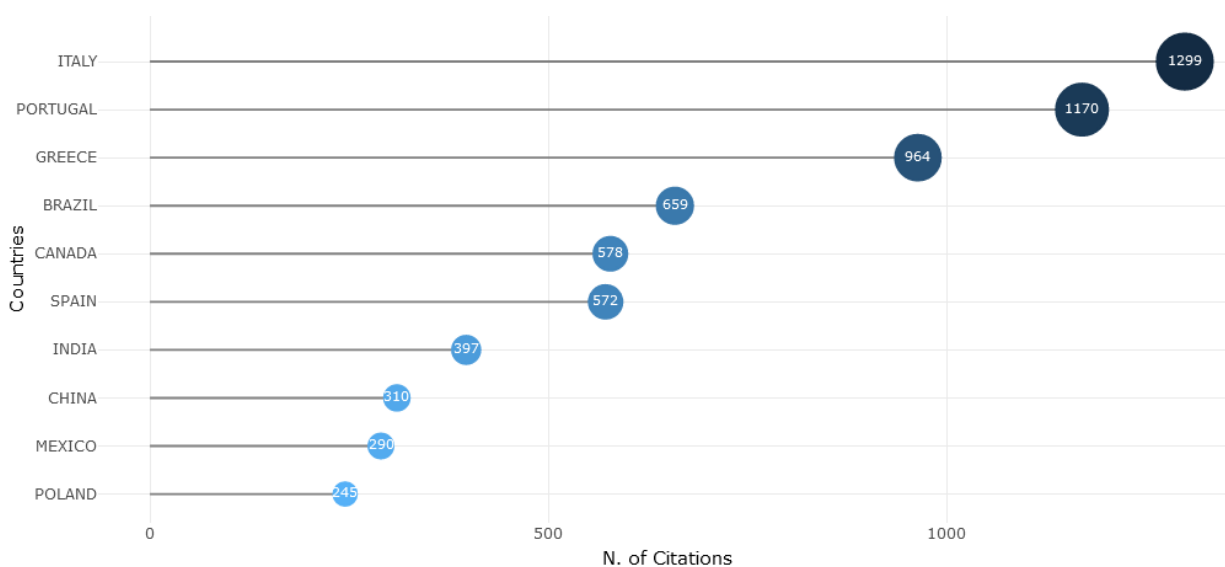
El comportamiento de los países más citados se puede evidenciar en la **figura 17**. En la medida en que el color y el círculo sean más oscuros y más grandes, se puede evidenciar mayor participación y citas de las investigaciones en el respectivo país. El comportamiento y la cantidad de publicaciones encontradas referentes a la valorización del suero por medio de procesos biotecnológicos en cada país, nos da un acercamiento de los países donde se han

implementado las diferentes tecnologías y que pueden servir de referente de procesos investigativos, además de mostrarnos la relevancia científica de sus publicaciones.

Según los datos arrojados por el programa Bibliometrix, Italia es uno de los países donde se encuentra un mayor número de citas (1299), seguido de Portugal (1170) y luego Grecia (964). De Latinoamérica encontramos a Brasil con (659), México con (290), Argentina (160) y Colombia, que sólo reporta (26), evidenciando un bajo registro en la producción científica.

Figura 18

Países más citados



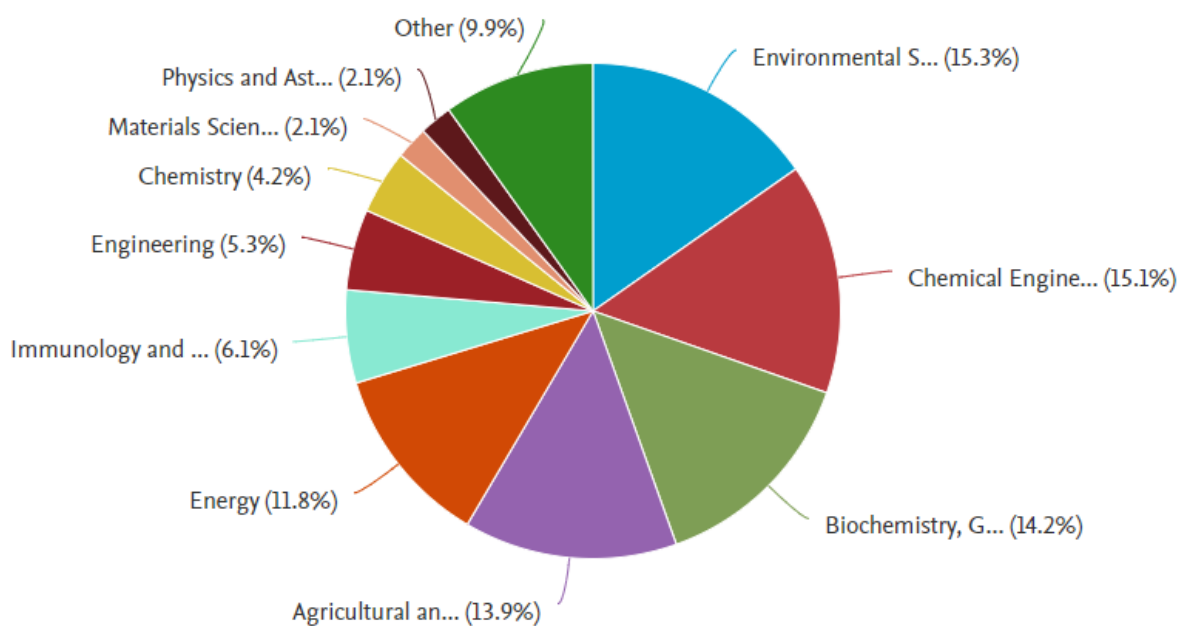
Fuente: Elaboración propia empleando Bibliometrix, 2024

En la figura 18 encontramos las áreas temáticas en donde más se han desarrollado investigaciones referentes al aprovechamiento del suero quesero en procesos biotecnológicos. Dentro de las áreas temáticas que más se han encargado de estudiar el tema, encontramos que el área de ciencia ambiental es donde más se ha desarrollado investigaciones con un 15,3 %, seguida de la ingeniería química con un 15,1 %, luego el área de Bioquímica, Genética y Biología Molecular con un 14,2 %, luego las Ciencias Agrícolas y Biológicas con un 13,9 %, y

con un 11,8 % hace referencia a los temas energéticos. Lo anterior demuestra la gran preocupación que existe por mitigar el efecto negativo que tiene el suero en el medio ambiente, y cómo las ciencias biológicas están ahondando esfuerzos para lograr tecnologías más limpias, mejoras en los procesos agrícolas y la producción energética con nuevas alternativas amigables con el medio ambiente.

Figura 19

Áreas donde se han desarrollado investigaciones referentes al aprovechamiento del suero quesero en procesos biotecnológicos



Fuente: Elaboración propia empleando SCOPUS, 2024

Principales tendencias biotecnológicas empleadas para potencializar el suero quesero

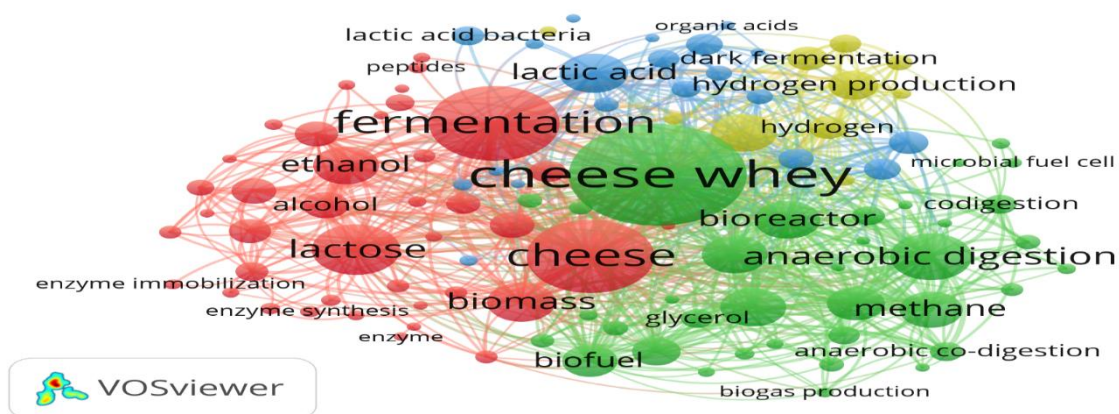
Partiendo de la información obtenida en SCOPUS, se empleó la herramienta VOSviewer para poder revisar los temas que se han trabajado, que se están trabajando y las tendencias referentes al empleo de la biotecnología para potencializar el suero quesero, para así poder fundamentar la monografía, como se puede ver en la **figura 18**.

Por medio de la herramienta VOSviewer y el análisis estadístico que se aplica dentro de ella, podemos encontrar las palabras más utilizadas por los autores y reconocer las tendencias por su nivel de coocurrencia dentro de las publicaciones. Esto permite tener un bosquejo general y un fundamento interesante para los procesos de profundización e investigación referentes al tema en estudio.

La herramienta arroja mapas sectorizados por clústeres, de temas relacionados entre sí y cuya finalidad es delimitar las tendencias, así como también analizar su evolución en el tiempo, como se puede ver en la **figura 21**. El tamaño de los nodos está relacionado con el número de reincidencias que se encuentran en las publicaciones; entre mayor sea el nodo, mayor es su incidencia en las investigaciones (Jan van Eck & Waltman, 2023). Esto permitirá definir las tendencias a tratar, así como también las tendencias poco trabajadas que pueden ser un vehículo para incentivar futuras investigaciones que profundicen el tema.

Figura 20

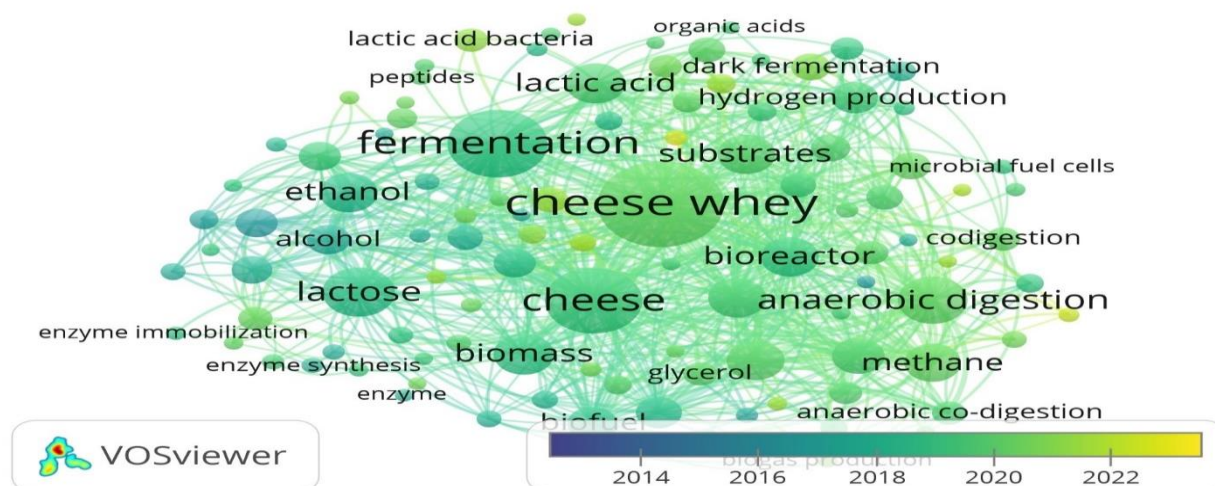
Tendencias biotecnológicas para potencializar el suero queso



Fuente: Elaboración propia empleando VOSviewer, 2024

Figura 21

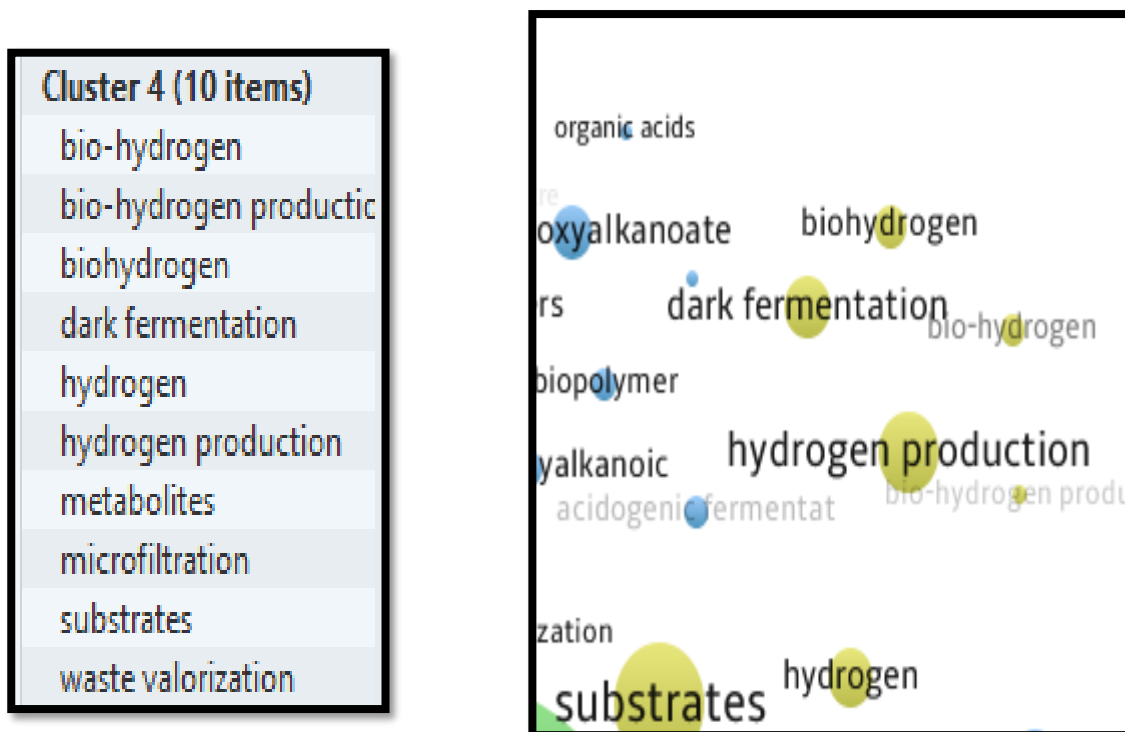
Comportamiento de las investigaciones a través de los años



Fuente: Elaboración propia empleando VOSviewer, 2024

Figura 24

Clúster 4 Fermentación oscura para la Producción de Hidrógeno

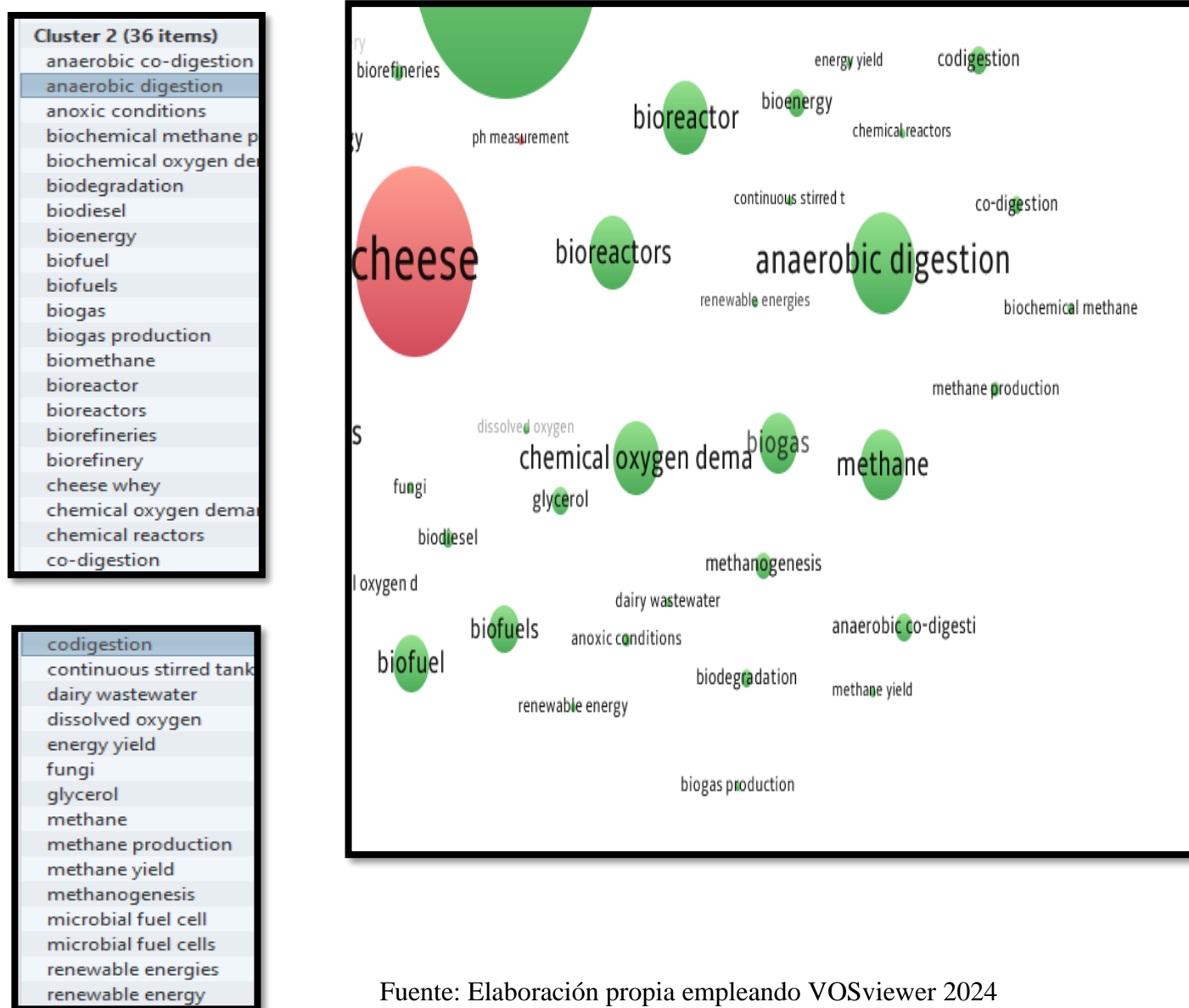


Fuente: Elaboración propia empleando VOSviewer, 2024

En la **figura 25** se puede ver el clúster verde (clúster 2), que hace referencia al proceso de digestión anaerobia, así como también a la producción de metano, los procesos de Codigestión, la producción de biogas y glicerol.

Figura 25

Clúster 2 Digestión Anaerobia



Fuente: Elaboración propia empleando VOSviewer 2024

Para refinar la información y teniendo en cuenta las tendencias encontradas arrojadas por el programa VOSviewer, los temas más relevantes fueron tamizados por medio de ecuaciones de búsqueda específicas, como se puede observar en la **tabla 10** y **tabla 11**.

Tabla 9*Ecuaciones de búsqueda referente a procesos fermentativos*

Tendencia	Ecuación de búsqueda	Documentos encontrados	Fuente
Producción de ácido láctico	TITLE-ABS-KEY ("cheese whey" AND fermentation AND " lactic acid") AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	115	Scopus
Producción de Etanol	TITLE-ABS-KEY ("cheese whey" AND fermentation AND ethanol) AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	93	Scopus
Producción de Hidrógeno	TITLE-ABS-KEY ("cheese whey" AND fermentation AND "hydrogen production") AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	76	Scopus
Producción de péptidos bioactivos	TITLE-ABS-KEY ("cheese whey" AND fermentation AND peptides)	25	Scopus

Fuente: Elaboración propia empleando Scopus 2024

Tabla 10*Ecuaciones de búsqueda referente a digestión anaerobia*

Tendencia	Ecuación de búsqueda	Documentos encontrados	Fuente
Digestión Anaerobia	TITLE-ABS-KEY ("cheese whey" AND "anaerobic digestion") AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	133	Scopus

Fuente: Elaboración propia empleando Scopus 2024

Análisis crítico del empleo de biotecnología como mecanismo para potencializar el suero quesero

En los últimos años se ha buscado potencializar el uso del suero quesero debido al impacto negativo que tiene este residuo en el medio ambiente, así como también las pérdidas económicas que se dan por su falta de aprovechamiento, ya que el mismo posee un alto valor composicional que podría ser potencializado.

Dentro de los estudios realizados se puede ver que su potencial aumenta cuando este residuo es sometido a unos tratamientos previos como lo es la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, osmosis inversa (Wen-qiong et al., 2019). Estos procesos buscan mejorar la materia prima para poder obtener un producto final con las características y calidad deseadas, así como también la optimización y eficiencia de los procesos, al eliminar los contaminantes que puedan afectar el producto deseado (Betancor Pernía, 2019).

Procesos fermentativos

Dentro de los estudios biotecnológicos se ha encontrado que los procesos fermentativos tienen mucha aplicación dentro de las tecnologías utilizadas para potencializar la valorización del suero quesero. El suero quesero posee la cuarta parte de las proteínas de la leche, gran parte de la lactosa y diferentes minerales, haciendo de este una fuente ideal para ser empleado en procesos fermentativos, ofreciendo así una gama alta de productos (Vázquez et al., 2020).

La fermentación es el proceso por medio del cual se produce energía en ausencia de oxígeno, gracias a la transformación que realizan los microorganismos sobre la materia orgánica (Navas, 2020). Los productos obtenidos de esta dependen del tipo de fermentación que se dé. En la revisión realizada se encontraron estudios donde se ha empleado la fermentación láctica, fermentación alcohólica, fermentación oscura y fermentación proteolítica.

Fermentación láctica

Los resultados de la ecuación de búsqueda referente a los procesos biotecnológicos fermentativos arrojaron 115 publicaciones referentes a la obtención de ácido láctico como uno de los ácidos que más se ha investigado entre los años 2013 y 2023. Son muchos los estudios que se han desarrollado referentes a la obtención de ácido láctico por vía fermentativa empleando como sustrato suero quesero. El ácido láctico es utilizado en la industria de alimentos como acidulante y conservante, en la industria química como solubilizador y controlador de pH, en la industria textil en el trabajo realizado por las curtiembres, en la industria cosmética para controlar el envejecimiento y el cuidado de la piel. El ácido láctico normalmente se obtiene por síntesis química, esta técnica tiene la ventaja de tener un proceso más controlado, lo que garantiza la pureza del ácido a obtener (Asunis et al., 2019). No obstante, dentro del proceso productivo se emplean muchas sustancias que pueden ser dañinas para el medio ambiente, así como también la maquinaria necesaria para obtenerlo por esta vía es muy compleja, lo que aumenta los costos del proceso y disminuye su rentabilidad (Gasca, 2019).

Dentro del análisis bibliométrico se seleccionaron las publicaciones con mayor impacto, tomando como base las publicaciones más citadas, esta información se puede observar en la tabla 12. Los autores más citados han encontrado que la producción de ácido láctico por medio de procesos biotecnológicos, puede ser una fuente renovable para la producción de plásticos, que normalmente se obtienen de fuentes no renovables. En los últimos años se ha empleado este ácido como materia prima para la producción de un biopolímero, el llamado ácido poliláctico (PLA), útil para la elaboración de empaques (Dedenaro et al., 2016),(Meruvu, 2023). La importancia del ácido láctico en diferentes industrias representa una necesidad en el mercado, además de que podría mitigar en cierta medida las pérdidas ocasionadas por el proceso

productivo al darle un segundo uso al suero proveniente de las queserías, que es un problema por tratar (S. Costa et al., 2020).

En cuanto al proceso biotecnológico, es interesante estudiar el comportamiento de las diferentes bacterias frente al sustrato empleado. La mayoría de los autores más citados encontraron que el suero permeado es uno de los sustratos que genera mayor rendimiento, así como también el enriquecer el medio de cultivo favorece la producción de este ácido. La ultrafiltración del suero natural permite no sólo aislar las proteínas, sino que también, elimina los microorganismos presentes en la solución del permeado (Betancor Pernia, 2019a). El anterior proceso favorece la concentración de la lactosa para la producción de ácido láctico y destruye las bacterias contaminantes que compiten con las bacterias necesarias para la producción de ácido láctico, evitando el amensalismo microbiano, que es uno de los inconvenientes presentados en la producción de ácido láctico (García et al., 2017) (Peñafiel, 2024). No obstante, las bacterias ácido lácticas requieren de fuentes peptídicas, aminoácidos y vitaminas para poder desarrollarse y producir el ácido láctico. Es por ello que en un estudio realizado se enriqueció el suero permeado con extracto de levadura, huevo y peptona, cuyos rendimientos fueron favorables al obtener (27,5 g/L) de ácido láctico y una eficiencia en el consumo de la lactosa de un 98 % (Lech, 2021), mucho mayor que el estudio donde se empleó el suero puro (10,6 g/L) (Luongo et al., 2019). En los estudios donde se empleó suero puro, se empleó la adición de la enzima β -galactosidasa para facilitar la hidrólisis y el desdoblamiento de la lactosa para que las bacterias la aprovechen para facilitar su transformación a ácido láctico (Juodeikiene et al., 2016) (Tesfaw, 2023). Dentro de las mejoras encontradas en los estudios más citados, en los últimos años ha tomado mucha fuerza el emplear las células de los microorganismos fermentadores en una forma inmovilizada. Las células inmovilizadas, son células de microorganismos que son sometidos a un

proceso novedoso que consiste en aplicar recubrimiento a las mismas con diferentes materiales para mantener las propiedades funcionales de las mismas (Ghasemi et al., 2017) (Dosuky et al., 2022). Es así como en un estudio se empleó *Lactobacillus plantarum* inmovilizado con poli (alcohol vinílico), para el proceso de fermentación y con el cual se obtuvo un rendimiento de 33,8 g/L de ácido láctico (Nagarajan et al., 2020).

Dentro de los inconvenientes que presenta la síntesis de ácido láctico a partir de suero quesero por medio de procesos fermentativos, se encuentra el costo de la tecnología empleada, ya que los procesos de filtración por membrana son muy costosos y requieren volúmenes de materia prima considerables, en donde en los países en desarrollo se podrían generar estrategias para el acopio de suero para ser tratado por las grandes industrias que cuentan con esta tecnología (Asla, 2020b). La purificación del ácido láctico es otro de los factores a controlar. Se requieren procesos que minimicen la contaminación del producto final o realizar una purificación del mismo. Dentro del control riguroso se encuentran las condiciones de crecimiento de las bacterias participantes, estas son el pH, la temperatura, y el requerimiento de nutrientes que favorezcan la producción del ácido láctico (Dosuky et al., 2022).

La obtención biotecnológica de ácido láctico por medios fermentativos es una técnica amigable con el medio ambiente, debido a que se emplean procesos naturales para su obtención, además de generar otros productos secundarios como lo son las sustancias bioactivas que podrían beneficiar el sistema inmunológico, digestivo, potencializando su estudio para la elaboración de alimentos funcionales (Gordillo-Andia et al., 2024).

Tabla 11

Publicaciones científicas más citadas en los últimos 10 años por Scopus, referentes a la obtención de ácido láctico a partir de suero quesero por procesos fermentativos(2013-2023)

Título del estudio	Fuente	Citaciones	Autores	Referencia
Control de la duración de la fermentación y del pH para orientar la producción de bioquímicos y biocombustibles a partir del suero de queso.	Bioresource Technology	71	Asumís F;De Giovanni G;Isipato M; Muntoni A; Polettini A; Pomi R; Rossi A; Spiga D	(Asunis et al., 2019)
Valorización de residuos lácteos para mejorar la producción de ácido D-láctico a bajo coste	Process Biochemistry	47	Liu P;Zheng Z;Xu Q;Qian Z;Liu J;Ouyang J	(P. Liu et al., 2018)
Fermentación por lotes repetidos de suero de queso para la producción semicontinua de ácido láctico utilizando cultivos mixtos a pH no controlado	Sustainability (Switzerland)	42	Luongo V;Policastro G;Ghimire A;Pirozzi F;Fabbricino M	(Luongo et al., 2019)
Aplicación de cepas de <i>Pediococcus</i> tolerantes a los ácidos para aumentar la sostenibilidad de la producción de ácido láctico a partir del suero de queso	Lwt	34	Juodeikiene G;Zadeike D;Bartkiene E;Klupsaite D	(Juodeikiene et al., 2016)
Valorización de residuos agroalimentarios mediante fermentación: producción de ácido L-láctico como	Applied Science (Switzerland)	25	Dedenaro G;Costa S;Rugiero I;Pedrini P;Tamburini E	(Dedenaro et al., 2016)

componente básico para la síntesis de biopolímeros.

La fermentación como estrategia para la biotransformación de residuos en recursos: producción de ácido láctico a partir de residuos agroalimentarios.

Fermentation

20

Costas;Summa D;Semeraro B;Zappaterra F;Rugiero I;Tamburini E

Amensalismo microbiano en cultivos mixtos de *Lactobacillus casei* y *Pseudomonas taetrolens*.

Bioprocess And Biosystems Engineering

16

García C; Rendueles M; Díaz M

(García et al., 2017)

Optimización de la suplementación con suero de leche residual libre de proteínas utilizado para la producción microbiológica industrial de ácido láctico

Biochemical Engineering Journal

13

Lech, M.

(Lech, 2021)

Aislamiento, identificación y aplicación de bacterias productoras de ácido láctico utilizando sustrato de suero de queso salado y tecnología de células inmovilizadas

Journal of Genetic Engineering and Biotechnolog y

12

Atiat
Sayed Dosuky 1,
Tarek
Ragab Elsayed 2,
Eman
Tawfik Yousef 1,
Olfat
Sayed Barakat 2,
Nasr Fawzy Nasr

(Dosuky et al., 2022)

Fermentación Alcohólica

Dentro de los 93 resultados obtenidos de la ecuación de búsqueda referente a la obtención de alcoholes a partir de suero lácteo, se puede ver como la mayoría de autores encuentran que el suero lácteo es una buena fuente de nutrientes requeridos para la síntesis del etanol (Oliveira et al., 2017) (Tesfaw, 2023).

En la revisión hecha de las publicaciones con mayor número de citas que se encuentra en la **tabla 13**, evidencia que se han estudiado diferentes cepas de microorganismos, se han realizado mejoras genéticas y se han empleado diferentes sustratos para la síntesis de etanol, las cuales se citarán en la siguiente descripción.

En cuanto a los microorganismos encontrados para mejorar la producción de etanol por medios fermentativos, se han empleado levaduras que van a permitir la producción de bebidas fermentadas como las cervezas (Arauz Solís, 2020). Otros investigadores encontraron que al emplear *Saccharomyces cerevisiae* para la elaboración de cerveza, no encontraron los rendimientos deseados (Costa et al., 2022). Esto puede ser debido a que estas levaduras no tienen la facilidad de hidrolizar la lactosa, además de que no producen la enzima β -galactosidasa (Sampaio et al., 2020). En estos casos es recomendable adicionar la enzima y someter el suero a un tratamiento previo que provoque este rompimiento de la lactosa y permita tener más acceso a azúcares fermentables que facilitarían la producción del alcohol (Carvalho et al., 2021).

Dentro de la revisión bibliográfica se pudo evidenciar que el empleo de levaduras favorece la fermentación del suero quesero, así como hay otras que no contribuyen en el proceso por sus bajos rendimientos o su nula producción de etanol. La levadura *Kluyveromyces marxianus* es una levadura que tiene gran habilidad para fermentar la lactosa (Pasotti et al.,

2020), debido a que tiene la facilidad de desdoblarla y permitir la optimización del proceso, siempre y cuando el suero presente un pretratamiento que garantice su asepsia y la concentración de lactosa necesaria para una producción de etanol (Raganati et al., 2013a) (Pendón et al., 2021). Durante la fermentación, las células de levadura se enfrentan a condiciones de estrés debido a la temperatura y la concentración de sólidos disueltos, viéndose afectados los genes LAC12 y LAC4, responsables de desdoblar la lactosa. Es así que, por medio de un proceso denominado adaptación evolutiva, se mejoran las cepas con el fin de que las levaduras se adapten más a las diferentes condiciones presentadas durante el proceso de fermentación del suero por medio de procesos de transformación genética. En un estudio realizado se empleó una cepa adaptada sometida a tratamiento genético, dicha cepa fue *K. marxianus MTCC 1389*, con la cual se obtuvo 79,33 g/L de etanol en comparación con la cepa sin modificación, con la que se obtuvo 66,75 g/l, demostrando que la adaptación evolutiva puede llegar a ser una estrategia para optimizar la producción de etanol por vía biotecnológica (Saini et al., 2017). Esta levadura también se ha trabajado con la combinación de otra *Debaryomyces hansenii*, en una investigación que buscó obtener una biomolécula de alcohol con propiedades de aroma y sabor, encontrando que el rendimiento se ve más marcado cuando se trabajan las dos cepas combinadas, que cuando la fermentación del suero se realiza con las cepas por separado (Valdez Castillo et al., 2021).

Una de las mejoras encontradas en los estudios es el trabajar la fermentación del trigo empleando como cosustrato el permeado de suero quesero (Carvalho et al., 2021), esto para mejorar la producción de etanol y reemplazar el agua de la fermentación, cuyos resultados mejorarían el rendimiento del alcohol. Se encontró que el permeado de suero, se debe tratar con las enzimas que hidrolizan la lactosa, ya que la levadura empleada (*Saccharomyces cerevisiae*)

no lo puede realizar. Este es un punto álgido para la síntesis de dicho alcohol. En la investigación se empleó β -galactosidasa como enzima para realizar la hidrólisis del suero. La mezcla del suero hidrolizado por la enzima y el sustrato de trigo, mejoró la producción del alcohol, obteniéndose 196.7 g/L de etanol en el proceso fermentativo y una conversión de la lactosa de 88.2 % (Parashar et al., 2016). También se encontró otro estudio donde se empleó una mezcla de permeado de suero quesero, mezclándolo con hidrolizado de licor macerado de maíz como fuente de nitrógeno. Para este estudio se empleó una modificación genética de la cepa *Lactococcus lactis* y se trató con el fin de que la cepa tuviera propiedades catabólicas para poder sintetizar etanol a partir de la lactosa, pero de esta forma sólo se logró un rendimiento del 41 g/L, aunque permite sintetizar el etanol de manera directa sin pasar a lactato (J. Liu et al., 2016).

Otros de los estudios más citados emplearon madera y suero quesero en polvo. La especie de madera fue *Eucalyptus globulus* (EGW), mezclada con suero de queso en polvo bajo la acción de *Saccharomyces cerevisiae Ethanol Red*®; esta es una cepa modificada genéticamente, que tiene la propiedad de producir β -galactosidasa, que facilita monitorear el rendimiento en la producción de etanol, el cual registró un volumen de producción de 93 g/l de etanol (Cunha et al., 2018).

En cuanto a la producción de bioalcohol, se han empleado varias metodologías para su obtención. Entre estas se tiene el cultivo por lote alimentado en diferentes ciclos y la fermentación por lote discontinuo. La diferencia entre estos dos procesos consiste en que, en la fermentación por lote alimentado, el inóculo se añade al sustrato al comenzar el proceso, y se continúa enriqueciendo el medio con más sustrato fresco que permite que los microorganismos continúen la fermentación; caso contrario sucede con la fermentación por lote discontinuo, en el cual tanto el sustrato como el inóculo es añadido desde el comienzo y no se vuelve a añadir

ninguno de los dos, hasta que el microorganismo llegue a la fase estacionaria (Zhang et al., 2023).

Dentro de los estudios revisados, donde la metodología empleada es la técnica por lote discontinuo, se encontró que, como se ha nombrado en el desarrollo del presente trabajo, el suero debe pasar por un proceso de pretratamiento; se debe maximizar la inocuidad del producto para garantizar el crecimiento de los microorganismos que se van a trabajar, con el fin de aumentar el rendimiento del producto que se desea conseguir. En el caso del bioetanol, se encontraron estudios donde la metodología se dividió en dos etapas, la primera consiste en el pretratamiento aplicado al suero. En el estudio realizado por Quintero (2018), como primera instancia se aplicó una ultrafiltración con poros que oscilan entre 0.01 y 0.1 μ , útiles para fraccionar los constituyentes del suero y concentrar los componentes del sustrato útiles para el proceso fermentativo, en este caso los azúcares, minerales y algunos aminoácidos necesarios para el crecimiento de los microorganismos, así como también aislar las proteínas que interfieren en el proceso, ya que su presencia puede afectar la fermentación. Seguido de esto se obtiene un permeado de lactosa; como la levadura que se empleó no hidroliza la lactosa, se adiciona β -galactosidasa para lograr desdoblar los azúcares reductores que son necesarios para el proceso fermentativo a una temperatura de 37 °C. El permeado debe ser refrigerado para evitar el crecimiento de otros microorganismos y la acidificación de la muestra. Luego se concentra para obtener los azúcares reductores necesarios para comenzar el proceso. Entre más se logre concentrar dichos azúcares, mayor cantidad de etanol se va a obtener. La segunda etapa es la fermentación como tal. En este estudio se empleó *Saccharomyces cerevisiae*, el sustrato utilizado fue el obtenido en la etapa anterior y se dejó el inóculo durante 5 días, en los cuales se realizó

análisis fisicoquímico cada 24 horas, y se procedió a realizar una destilación de dicho sustrato para obtener el etanol (Quintero, 2018).

Otras de las mejoras que se han encontrado en los estudios más citados señalan los procesos de inmovilización tanto de las cepas como de las enzimas involucradas en el proceso. El proceso de inmovilización busca conservar las propiedades tanto de las cepas como de las enzimas para que no se vean afectadas por las condiciones del medio fermentativo. En uno de estos estudios se inmovilizó β -galactosidasa empleando quitosano y *Saccharomyces cerevisiae* empleando alginato de calcio, y ambas se utilizaron juntas para la producción de etanol a partir de suero concentrado (Sampaio et al., 2020).

La obtención de etanol requiere un control riguroso de factores como la temperatura, el pH, la concentración de biomasa y la concentración de lactosa (Zhou et al., 2019).

Tabla 12

Publicaciones científicas más citadas en los últimos 10 años por Scopus, referentes a la obtención de Etanol a partir de suero quesero por procesos fermentativos(2013-2023)

Título del estudio	Fuente	Citaciones	Autores	Referencia
Diferentes proporciones de fuentes de carbono en la fermentación de suero de queso y glucosa como sustratos para la producción de hidrógeno y etanol en reactores continuos.	New Biotechnology	132	Blanco, Oliveira Cass; Silva Ce; Carvalho Greis Ma	(Blanco et al., 2019)
Fermentación de lactosa a etanol en permeado de suero de queso y permeado concentrado mediante	Bioresource Technology	86	Rosa Prf;Santos Sc;Sakamoto Ik;Varesche Mba;Silva El	(Rosa et al., 2014a)

Escherichia coli modificada Fermentación del permeado de suero de queso por <i>Kluyveromyces lactis</i> : un enfoque combinado para el tratamiento de aguas residuales y la producción de bioetanol	Bioresource Technology	77	Raganati F;Olivieri G;Procentese A;Russo Me;Salatino P;Marzocchella A	(Raganati et al., 2013b)
Impulsar la producción de bioetanol a partir de madera de eucalipto mediante la incorporación de suero	Bioresource Technology	48	Cunha M;Romaní A;Carvalho M;Domingues L	(Cunha et al., 2018)
Optimización y validación de la producción de etanol a partir de permeado de suero de queso mediante <i>Kluyveromyces marxianus</i> UFV-3	Bioresource Technology	38	Pasotti L;Zucca S;Casanova M;Micoli G;Cusella De Angelis Mg;Magni P	(Pasotti et al., 2020)
Una novedosa fábrica de células para la producción eficiente de etanol a partir de residuos lácteos	Applied Biochemistry And Biotechnology	35	Kokkiligadda A;Beniwal A;Saini P;Vij S	(Saini Et Al., 2017)
Fábricas de células de levadura para la valorización sostenible del suero en etanol hacia una economía circular	Biofuel Research Journal	15	Patricia Carvalho Carlos E. Costa Sara L. Baptista Lucília Domingues	(Carvalho et al., 2021)
Producción de alcoholes fusel ricos en aroma y sabor mediante fermentación de suero de queso	Journal of Chemical Technology and Biotechnology y	11	Valdez Castillo, M., Yoshida, Y., Pachapur, VLA, Avalos Ramírez, A.	(Valdez Castillo et al., 2021)

utilizando las levaduras
Kluyveromyces
marxianus y
Debaryomyces
hansenii en modos de
monocultivo y
cocultivo

Un concepto de
biorrefinería para la
producción de etanol
combustible, levadura
probiótica y proteína
de suero a partir de un
subproducto de la
industria del queso

Applied
Microbiology
and
Biotechnology

7

Pendón,
MD,Madeira,
,Romanín,
Gombert,
Alaska, Garrote,

(Pendón et al.,
2021)

Combinación
estratégica de
diferentes promotores
en la metabolización
de la lactosa y
selección del chasis
huésped para títulos
altos de bioetanol a
partir de desechos
lácteos

Biotechnology
Letters

4

Costa,
Carvalho,
P.Domínguez

(C. E. Costa et
al., 2022)

Las tendencias actuales
de la producción de
bioetanol a partir de
suero con levaduras:
perspectivas biológicas
y económicas

Front. Energy

4

Asmamaw
Tesfaw

(Tesfaw, 2023)

Valorización de suero
de queso en polvo
mediante fermentación
en dos etapas para la
preparación de ácido
glucónico y etanol

Applied
Microbiology
and
Biotechnology

0

Zhang,
Y.,Y.,Liu,
X.,Zhou, X.,Y.

(Zhang et al.,
2023)

Producción de Hidrógeno

Luego de la depuración bibliográfica referente a la producción de hidrógeno a partir de suero quesero, se encontraron varios estudios que citan el proceso de fermentación oscura como uno de los más empleados procesos biotecnológicos (Rao & Basak, 2021b). A partir de la ecuación de búsqueda planteada se seleccionó las publicaciones más citadas referente a dicho tema como se pueden ver en la **tabla 14**. Es así como muchos de los autores allí citados exaltan la composición nutricional del suero y su alta concentración de lactosa, que facilita la conversión de la misma en hidrogeno, CO₂ y metabolitos secundarios empleando diferentes cepas de microorganismos anaerobios. La fermentación oscura es un proceso por el cual se emplean bacterias de tipo anaerobio las cuales se encargan de transformar la materia orgánica en hidrógeno, en ausencia de oxígeno. Unos de los estudios más citados hacen referencia a estos procesos de fermentación oscura empleando el suero permeado y el segundo suero resultante de la producción de queso ricota (Colombo et al., 2019). En este estudio los investigadores resaltan la importancia del pretratamiento del suero por medio de procesos de ultrafiltración que favorecen la producción de hidrógeno, así como también favorecen la producción de metabolitos secundarios como los ácidos orgánicos volátiles que en los últimos años se han empleado para la producción de polihidroxialcanoatos (PHA), estos últimos buscan sustituir el empleo de plásticos de origen fósil por la elaboración de empaques de origen biológico.

Los autores resaltan las ventajas que tiene la producción de hidrógeno por medio de procesos biotecnológicos, como lo es la alta capacidad energética que tiene el hidrógeno, su producción genera emisiones que no son nocivas para el medio ambiente. Al emplear el suero como sustrato se potencializa el uso de un recurso renovable, donde se emplea una tecnología económica y simple que favorece la economía circular (Romão et al., 2014)(Camacho et al.,

2022a). Los autores más citados llegan al consenso del empleo de un consorcio bacteriano, que no es más que la mezcla de microorganismos que favorecen el proceso. Dentro de las bacterias más empleadas se encuentran *Selenomonas* (Rosa et al., 2014b), *Escherichia Coli W3110* (Fernández Rodríguez et al., 2016b), *Gammaproteobacteria: Rahnella aquatilis* (9 cepas) y el filo *Firmicutes: Carnobacterium maltaromaticum, Trichococcus collinsii* y *Clostridium algidixilanolyticum* (Dębowski et al., 2014) en estudios más recientes se encuentra el empleo de *Thermoanaerobacterium* y *Clostridium* (Lovato et al., 2021) *Enterobacter aerogenes* 2822 (Rao & Basak, 2021a)

Los autores resaltan que se deben controlar diferentes factores para la producción de hidrogeno por vías biotecnológicas como lo son el control de pH, la temperatura, el inoculo, el pretratamiento del sustrato, el tipo de reactor (Lovato et al., 2021). El pH es uno de los factores de mayor importancia debido a que el medio proporciona las condiciones adecuadas a los microorganismos que se van a emplear, tal es el caso de las bacterias acidogénicas y acetogénicas que se encargan de producir el hidrogeno y se minimiza el crecimiento de bacterias metanogénicas que inhiben la producción del gas (Rao & Basak, 2021b). Es así como algunos han mejorado las condiciones de la fermentación oscura adicionando al sustrato estiércol de búfalo (Ghimire et al., 2017), de res (Camacho et al., 2022b) que no solo favorece el crecimiento microbiano, sino que también mejora el pH del proceso ya que se ha encontrado que a pH ácidos la producción de H se ve inhibida. Otra de las ventajas de utilizar coproductos para la fermentación es que al estabilizar el pH del medio de forma natural evita el empleo de agentes químicos, favoreciendo la producción limpia que minimiza el impacto ambiental. En aras de mejorar el rendimiento del producto se encontraron investigadores que implementaron un modelo cinético que les permitió mejorar el rendimiento del producto al trabajar las diferentes

variables del proceso, así como también les permitió determinar las vías metabólicas involucradas en el proceso para la toma de decisiones (Blanco et al., 2019).

No obstante, se han encontrado inconvenientes en la producción de hidrogeno a partir de lactosuero, como lo son la impureza obtenida en la producción del gas que puede venir acompañado de otros gases, el crecimiento de bacterias no aptas para el proceso, que inhibe la síntesis y disminuye el rendimiento. Varios investigadores señalan que todavía falta mucha investigación referente a este tema (RAO 2022). La mayor parte de las investigaciones se desarrollan a escala de laboratorio y al ser un proceso biológico el proyectarlo a una gran escala, exige controlar muchas variables para minimizar las impurezas en el producto final (Policastro et al., 2023)

Tabla 13

Publicaciones científicas más citadas en los últimos 10 años por Scopus, referentes a la producción de Hidrógeno a partir de suero queso por procesos fermentativos(2013-2023)

Título Del Estudio	Fuente	Citaciones	Autores	Referencia
Producción de hidrógeno a partir de suero de queso con fermentación tipo etanol: efecto del tiempo de retención hidráulica sobre la composición de la comunidad microbiana	Bioresource Technology	86	Rosa Prf;Santos Sc;Sakamoto Ik;Varesche Mba;Silva El	(Rosa et al., 2014)
Biohidrógeno y polihidroxialcanoatos (PHA) como productos de un bioproceso de dos pasos a partir de	Waste Management	73	Colombo B;Villegas Calvo M;Pepè Sciarria T;Scaglia B;Savio Kizito	(Colombo et al., 2019)

desechos lácteos desproteinizados			S;D'imporzano G;Adani F
Producción continua de biohidrógeno mediante fermentación oscura termófila del suero de queso: uso de estiércol de búfalo como agente tampón	International Journal of Hydrogen Energy	59	Ghimire A;Luongo V;Frunzo L;Pirozzi F;Lens Pnl;Esposito G (Ghimire et al., 2017)
Producción de biohidrógeno fermentativo oscuro a partir de suero de queso sintético en un reactor anaeróbico de lecho estructurado: evaluación del rendimiento y modelado cinético	Renewable Energy	55	Blanco Vmc;Oliveira Ghd;Zaiat M (Blanco et al., 2019)
Posibilidad de producción de hidrógeno durante el proceso de fermentación del suero de queso por diferentes cepas de bacterias psicrófilas.	International Journal of Hydrogen Energy	48	Dębowski M;Korzeniewska E;Filipkowska Z;Zieliński M;Kwiatkowski R (Dębowski et al., 2014)
Disminución de la producción de metano en reactores UASB hidrogenógenos alimentados con suero de queso	Biomass And Bioenergy	44	Carrillo-Reyes J;Celis Lb;Alatriste-Mondragón F;Razo-Flores E (Carrillo-Reyes et al., 2014)
Producción de biohidrógeno mediante fermentación oscura por un consorcio microbiano utilizando permeado de suero como sustrato.	Applied Biochemistry And Biotechnology	42	Romão Bb;Batista Frx;Ferreira Js;Costa Hcb;Resende Mm;Cardoso Vl (Romão et al., 2014)

Optimización y modelado de la producción de hidrógeno fermentativo oscuro a partir de suero de queso por <i>Enterobacter aerogenes</i> 2822	International Journal of Hydrogen Energy	41	Rao R;Basak N	(Rao & Basak, 2021b)
La estrategia de puesta en marcha del reactor como clave para la producción alta y estable de hidrógeno a partir de la fermentación oscura termófila del suero del queso	Revista internacional de energía del hidrogeno	34	Lovato, G., Augusto, IMG, Ferraz Júnior, ADN,...Zaiat, M., Rodrigues, JAD	(Lovato et al., 2021)
Dinámica de la producción de hidrógeno durante la fermentación oscura del suero del queso: nuevos conocimientos a partir de la modelización	Revista internacional de energía del hidrógeno	28	Montecchio, D., Yuan, Y., Arias, A.	(Montecchio et al., 2018)
Producción de hidrógeno verde y productos químicos de plataforma a partir de la conversión acidogénica de granos usados de cervecería co-fermentados con aguas residuales de suero de queso: agregando valor al CO ₂	Energías y combustibles sostenibles	18	Sarkar, O., Rova, Y., Cristakopoulou, P., Matsakas, L.	(Sarkar et al., 2022)
Técnicas alternativas para mejorar la producción de hidrógeno mediante fermentación oscura	3 Biotech	14	Romão Bb; Silva Ftm; Costa Hcb; Do Carmo Ts; Cardoso Sl; Ferreira	(Romão et al., 2019)

Fermentación por lotes con foto oscura secuencial y modelado cinético para la producción de biohidrógeno utilizando suero de queso como materia prima	Bioquímica Aplicada y Biotecnología	14	Rao, R.,Bazar, Y.	(Rao & Basak, 2022)
La fermentación oscura como solución WIN-WIN ambientalmente sostenible para la producción de bioenergía	International Journal of Hydrogen Energy	15	Camacho, CI,Estévez, S.,Conde, JJ,Feijoo, G.,Moreira, Montana	(Camacho et al., 2022b)

Fuente: Elaboración propia empleando Bibliometrix 2024

Fermentación proteolítica

Dentro de lo arrojado por la ecuación de búsqueda y el clúster relacionado con fermentación que se puede ver en la figura 14, se encuentra un nodo pequeño referente a péptidos bioactivos. Aunque no se ve representativo en el mapa de visualización, sí es un tema que ha tomado fuerza en los últimos años y está muy relacionado con las tendencias referentes a la producción de alimentos funcionales (Mazorra-Manzano et al., 2020a). Los autores más relevantes, que se citan en la **tabla 15**, han encontrado que el suero quesero sometido a fermentación produce pequeñas cadenas de proteína denominadas péptidos (Yadav et al., 2015)(Tavares & Malcata, 2016; Solieri et al., 2022a), de los cuales muchos tienen propiedades biológicas benéficas para el ser vivo, así como también propiedades antimicrobianas útiles para la desinfección de los alimentos y la conservación de los mismos (Santos et al., 2021a).

En cuanto a las propiedades biológicas, se ha estudiado la síntesis de péptidos bioactivos empleando la microbiota nativa del suero. Algunos de los microorganismos encontrados fueron los de las especies *Lactococcus*, *Lactobacillus* y *Streptococcus*, los cuales permitieron inhibir la enzima convertidora de angiotensina (ECA). Esta enzima se encarga de regular la presión sanguínea y un exceso de la misma genera desequilibrios en el sistema nervioso, circulatorio y cardíaco. Es así que, el estudio de los péptidos bioactivos tendría un gran aporte en la medicina, al ser un vehículo en los tratamientos de problemas de hipertensión e insuficiencia cardíaca (Mazorra-Manzano et al., 2020a).

Otros autores han estudiado la propiedad conservante de algunos péptidos bioactivos obtenidos del suero quesero para la incorporación de los mismos en la elaboración de envases con películas comestibles, que permitan prolongar la vida útil del alimento, controlar el crecimiento de microorganismos patógenos, y reducir el empleo de conservantes químicos (Dinika et al., 2019). Una de las investigaciones consistió en enriquecer la fermentación con *Lactobacillus acidophilus* LA-5 y *Bifidobacterium lactis* BB-12, que registró una mayor producción de péptidos bioactivos cuando se empleó el cultivo de forma separada. Los péptidos obtenidos tenían poder inhibitorio contra bacterias grampositivas y gramnegativas, así como también se encontró que dichos péptidos tenían resistencia a rangos amplios de pH (3-9) y temperatura (40-100 °C), lo que favorecería su aplicación en diferentes matrices de alimentos por su espectro de resistencia (Amiri et al., 2022a).

Otras de las bacterias empleadas para enriquecer el proceso de síntesis de péptidos bioactivos por medio de procesos fermentativos, fueron *Lactobacillus helveticus* y cepas de *Streptococcus thermophilus* aisladas del suero natural. En este estudio se enriqueció el sustrato con concentrado de proteína de suero, el cual aumentó la producción de péptidos bioactivos. Así,

S. thermophilus RBC06 demostró ser un buen productor de péptidos bioactivos, que por el tipo de proceso favorecería la producción de bebidas fermentadas a base de suero, enriquecidas con compuestos funcionales que le darían un segundo uso a este subproducto proveniente de la fabricación del queso (Solieri et al., 2022b).

Los investigadores han encontrado que dentro de las propiedades de los péptidos bioactivos se tiene el favorecer el sistema endocrino, sistema inmunológico, sistema digestivo, y el sistema cardiaco (Helal et al., 2023). Esta investigación se ha ampliado incorporando dentro del proceso fermentativo la adición de calostro bovino, el cual posee alfa-lactoalbúmina, beta-lactoglobulina, inmunoglobulinas, lactoferrina y lactoperoxidasa, que favorecería la síntesis de los péptidos bioactivos de forma natural (Korhonen H., 2013) (Pes, 2022).

Una de las desventajas de este proceso es que requiere tecnologías especializadas para su separación y purificación, lo que ha dificultado su producción a escala industrial (Solieri et al., 2022b).

Tabla 14

Publicaciones científicas más citadas en los últimos 10 años por Scopus, referentes a la producción de péptidos bioactivos a partir de suero quesero por procesos fermentativos (2013-2023)

Título del estudio	Fuente	Citaciones	Autores	Referencia
Suero de queso: un recurso potencial para transformarse en bioproteínas, proteínas funcionales/nutricionales y péptidos bioactivos.	Biotechnolog y Adv	285	Yadav Jss;Yan S;Pilli S;Kumar L;Tyagi Rd;Surampalli Ry	(Yadav et al., 2015)

Fermentación del suero del queso por su microbiota nativa: proteólisis y liberación de péptidos bioactivos con actividad inhibidora de la ECA	Fermentación	57	Mazorra-Manzano, MA, Robles-Porchas, GR, González-Velázquez, González-Córdova, Amir, S., Rezaei Mokarram, R., Sowti Khiabani, M., Rezazadeh Bari, M., Alizadeh Khaledabad, M.	(Mazorra-Manzano et al., 2020b)
Caracterización de péptidos antimicrobianos producidos por <i>Lactobacillus acidophilus</i> LA-5 y <i>Bifidobacterium lactis</i> BB-12 y su efecto inhibidor frente a patógenos transmitidos por alimentos	LWT	44	Amir, S., Rezaei Mokarram, R., Sowti Khiabani, M., Rezazadeh Bari, M., Alizadeh Khaledabad, M.	(Amiri et al., 2022b)
Producción y propiedades de proteínas y péptidos beneficiosos para la salud a partir del calostro	Biotechnology and Food	27	Korhonen H.	(Korhonen H., 2013)
La fermentación del concentrado de proteína de suero por cepas de <i>Streptococcus thermophilus</i> libera péptidos con actividades biológicas	Bioquímica de procesos	17	Solieri, L., Valentini, M., Cattivelli, A., ...Martí, S., Tagliazucchi, D.	(Solieri et al., 2022a)
Suero de queso como recurso potencial para la producción de películas comestibles antimicrobianas y envases activos	Foods Raw Mater	14	Dinika I; Utama GI	(Dinika et al., 2019)
La fermentación del concentrado de proteína de suero por cepas de <i>Streptococcus thermophilus</i> libera	Process Biochem	14	Solieri L; Valentini M; Cattivelli A; Sola L; Helal A; Martini S; Tagliazucchi D	(Solieri et al., 2022b)

péptidos con actividades biológicas

La fermentación prolongada del suero del queso produce un nuevo polipéptido antibacteriano derivado de la caseína	Revista internacional de ciencias moleculares	10	Santos, Michigan,Lima, A.,Mota, J.,...Ferreira, MA,Sousa, yo.	(Santos et al., 2021b)
Suero y Suero en Polvo: Fermentación del Suero	Encycl Of Food and Health	7	Tavares T;Malcata Fx	(Tavares & Malcata, 2016)
Optimización de la hidrólisis enzimática del suero de queso y mayor producción continua de extractos antimicrobianos por <i>Lactobacillus plantarum</i> CECT-221	Journal of Dairy Research	6	Rodríguez-Pazo N;Da Silva Sabo S;Salgado-Seara Jm;Arni Sa;De Souza Oliveira Rp;Domínguez Jm	(Rodríguez-Pazo et al., 2016)
Efecto de la fermentación con cepas de <i>Streptococcus thermophilus</i> sobre la digestión gastrointestinal in vitro de concentrados de proteína de suero	Microorganismos	4	Helal Sara Pierri Davide Tagliazucchi	(Helal et al., 2023)

Fuente: Elaboración propia empleando Bibliometrix 2024

Uno de los estudios más desarrollados a nivel biotecnológico es el empleo del suero lácteo para la obtención de biomasa. La biomasa es la materia orgánica que puede ser utilizada como fuente de energía. Se ha identificado la biomasa primaria, que es la relacionada con la materia orgánica que se encuentra en estado natural, y es proveniente de los procesos industriales, como es el caso del residuo agroalimentario en estudio (Juodeikiene et al., 2016). La

biomasa secundaria es aquella que es obtenida de la transformación de la biomasa primaria por medio de procesos industriales, como es el caso del biogás y el bioetanol. Así, el suero lácteo es empleado para la obtención de bioetanol por medio de una fermentación alcohólica (Capdevila, 2020) y el biogás por una digestión anaerobia (Moscariello et al., 2022) .

Digestión anaerobia

Por medio de digestión anaerobia se puede obtener biogás a partir de suero lácteo a través de un proceso biotecnológico. Los estudios más citados arrojados por la ecuación de búsqueda se pueden visualizar en la **tabla 16**. El uso del biogás genera energía renovable que minimiza el empleo de combustibles fósiles, así como también su producción permite la síntesis de fertilizantes que reducen el empleo de sustancias químicas para los cultivos (Matassa et al., 2022). No obstante, tiene como desventaja que es un proceso complejo que requiere un control minucioso de la temperatura, el pH y la concentración de nutrientes, así como también se debe controlar la producción de anhídrido sulfuroso, que es un gas nocivo para el medio ambiente y el hombre (Sounni et al., 2023).

Dentro de los estudios se ha encontrado que uno de los procesos que potencializa la disminución del impacto ambiental y la producción de biogás, es la aplicación de la co-digestión anaerobia, que consiste en combinar el tratamiento de dos residuos, en este caso el lactosuero con otro residuo, para lograr mejores resultados (Maragkaki et al., 2018). Se ha encontrado en varios estudios, que tratar el lactosuero con residuos de heces fecales animales potencializa los resultados (Kasmi, 2018). Esto favorece al productor porque en un mismo proceso se tratan varios residuos, minimiza el espacio empleado, el tiempo de control, y se disminuyen los costos del proceso (Bella & Venkateswara Rao, 2022).

Dentro de los estudios más citados se encontró que el proceso de biodigestión se ve favorecido con la mezcla de estiércol vacuno, ya que las bacterias contenidas en este favorecen el proceso de digestión anaerobia (Bertin et al., 2013). Las heces provenían de animales sometidos a una alimentación especial, y se estabilizó la cantidad de sólidos para poder controlar mejor los productos de la fermentación. Dentro de las variables controladas se encontraron la temperatura de funcionamiento del biorreactor, el pH, la concentración de sólidos, la cantidad de inóculo y la cantidad de suero según las proporciones. Dentro de las variables antes mencionadas, la temperatura es fundamental, ya que un valor alto de esta disminuye la actividad biológica de los microorganismos y una temperatura muy alta genera menos estabilidad en el biodigestor. Si se logra encontrar la temperatura ideal, las bacterias trabajarán en la transformación del suero y aumentarán la producción del biogás (Camacho et al., 2022).

Para optimizar la producción de biogás, se debe manejar una temperatura de 34 °C durante el proceso, estabilizar las heces del suelo y diluirlas con agua hasta un 8 % de sólidos totales. Los sólidos totales del suero deben estar dentro del 6.8 %, y un pH de 5.5 que después es subido con bicarbonato de sodio a un pH entre 7 y 8, que es el ideal en una digestión anaerobia. El mejor rendimiento se obtuvo cuando se mezclaron los sustratos juntos, ya que por separado el rendimiento fue menor (Charalambous et al., 2020). En otros estudios donde se analizó el pH del procedimiento, se encontró que a pH alcalinos el rendimiento de la producción de biogás es mayor que a pH neutros, así como también el proceso se vio favorecido con un hidrolizado de microalgas (Rincón-Pérez et al., 2021).

Se ha encontrado que el suero es un buen codigestor para el tratamiento de aguas residuales (Kasmi, 2018). Algunos estudios han logrado reducir la carga orgánica en un 80 % en un periodo de 91 días con una producción de biogás de 69,8 m³ (Charalambous et al., 2020). Lo

anteriormente nombrado favorece mucho el impacto ambiental, teniendo presente que el suero lácteo produce en promedio 68 kg de DQO, que es el equivalente a la cantidad de aguas negras producidas en un día por 450 personas (Asas et al., 2021).

Otro de los estudios empleó residuos de frutas mixtas y suero quesero para la producción de metano, siendo un sistema aplicable dentro de la digestión anaerobia, ya que gracias a la alta concentración de carbono y nitrógeno de dichos residuos mejora la composición nutricional del sustrato, permitiendo el crecimiento de los microorganismos involucrados en la digestión. Estos nutrientes mencionados son escasos en los lodos activados, favoreciendo el proceso (Hallaji et al., 2019).

Dentro de los estudios revisados se encontró que los reactores más utilizados y con mejores rendimientos de conversión de la materia orgánica del suero quesero son: Reactor UASB (upflow anaerobic sludge blanket) y reactor UASFF (up-flow anaerobic sludge fixed film) (Fernández Rodríguez et al., 2016). El reactor UASB (reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos) es recomendado para volúmenes de residuos líquidos considerables, como es el caso del suero, empleando tiempos cortos. Se encontraron estudios donde se logró convertir hasta el 98 % de la materia orgánica (Bolen et al., 2022).

Tabla 15

Publicaciones científicas más citadas en los últimos 10 años por Scopus, referentes a los procesos de digestión anaerobia para la obtención de biocombustibles a partir de suero quesero(2013-2023)

Título Del Estudio	Fuente	Citaciones	Autores	Referencia
Mejora de la producción de biogás a partir de la co-digestión anaeróbica de lodos de depuradora con una mezcla	Waste Management	96	Maragkaki Ae;Vasileiadis I;Fountoulakis M;Kyriakou	(Maragkaki et al., 2018)

termésecada de residuos de alimentos, suero de queso y aguas residuales de olivar			A;Lasaridi K;Manios T	
Digestión anaeróbica del suero de queso: potencial energético y nutricional para el sector lácteo en los países en desarrollo	Waste Management	85	Escalante H;Castro L;Amaya Mp;Jaimes L;Jaimes-Estévez J	(Escalante et al., 2018)
Mejorar la producción de metano mediante co-digestión anaeróbica de lodos activados de residuos con residuos de frutas y suero de queso combinados	Bmc Biotechnology	71	Hallaji Sm;Kuroshkarim M;Moussavi Sp	(Hallaji et al., 2019)
Co-digestión anaerobia de alta carga de suero de queso y fracción líquida de estiércol lácteo en un proceso uasb de una etapa: límites en la relación de cosustratos y la tasa de carga orgánica	Chemical Engineering Journal	67	Rico C;Muñoz N;Fernández J;Rico JI	(Rico et al., 2015)
Perfil microbiano durante la digestión anaeróbica del suero de queso en reactores operados en diferentes condiciones	Bioresource Technology	62	Treu L;Tsapekos P;Peprah M;Campanaro S;Giacomini A;Corich V;Kougias Pg;Angelidaki I	(Treu et al., 2019)
Digestión anaeróbica de aguas residuales de lácteos industriales y suero de queso: realización del biorreactor de circulación interna y prueba de lotes de laboratorio a pH	Renewable Energy	57	Charalambous P;Shin J;Shin Sg;Vyrides I	(Charalambous et al., 2020)

Innovador proceso anaeróbico de dos etapas para la co-digestión efectiva del suero de queso y del estiércol de ganado	Bioresource Technology	53	Bertin L;Grilli S;Spagni A;Fava F	(Bertin et al., 2013)
Procesos biológicos como forma promotora tanto para el tratamiento como la valorización de los efluentes de la industria láctea	Waste And Biomass Valorization	47	Kasmi M	(Kasmi, 2018)
Tratamiento de residuos lácteos mediante co-digestión anaeróbica con lodos de depuración	Ecological Chemistry and Engineering S	32	Pilarska Aa;Pilarski K;Witaszek K;Waliszewska H;Zborowska M;Waliszewska	(Pilarska et al., 2016)
Mejora de la producción de metano a pH alcalino y neutro a partir de la codigestión anaeróbica de biomasa de microalgas y suero de queso	Revista de ingeniería bioquímica , 169, 107972	23	Rincón-Pérez, J.,Celis, LB,Morales, M.,...Tapia-Rodríguez, A.,Razo-Flores, E.	(Rincón-Pérez et al., 2021)
Codigestión anaeróbica mesófila por lotes de paja de cabra usada y suero de queso de cabra: comparación con la monodigestión de los dos únicos sustratos	Revista de Gestión Ambiental , 280, 111733	19	Fernández-Rodríguez, MJ,Puntano, NF,Mancilla-Leytón, JM,Borja, R.	(FernándezRodríguez et al., 2021)

Fuente: Elaboración propia empleando Bibliometrix 2024

Conclusiones

A nivel mundial se estima que se producen 200 millones de toneladas métricas de suero quesero, de las cuales Colombia produce aproximadamente 540000 toneladas métricas anuales. Dentro del diagnóstico realizado se encontró que, en los países desarrollados, este producto es utilizado para la obtención de otros productos, mientras que en Colombia este producto es considerado todavía un residuo, donde aproximadamente el 70 por ciento es destinado a alimentación animal o vertido en suelo y cuerpos acuíferos.

En los últimos 10 años, la producción literaria a nivel mundial, referente al empleo de la biotecnológica para valorizar el suero quesero, ha tenido un incremento exponencial del 22.05 %, según lo obtenido por Bibliometrix, lo que ratifica la importancia que se le ha dado al estudio del suero quesero, debido a los problemas económicos y ambientales que genera este residuo.

Los países con mayor producción literaria son los pertenecientes a la Unión Europea y Estados Unidos. En Latinoamérica se tienen a Brasil, Argentina y México, pero Colombia reporta valores muy bajos comparados con dichos países, lo que genera una necesidad de investigación y profundización del tema, teniendo presente que Colombia es el cuarto país productor de suero en Latinoamérica.

Con la herramienta VOSviewer, y los clústeres arrojados en el mapeo, se pudo identificar que dentro de las principales tendencias se encuentran estudios relacionados con procesos fermentativos y digestión anaerobia.

En cuanto a los procesos fermentativos, se destaca la obtención de ácido láctico, etanol e hidrógeno y, en menor proporción, la obtención de péptidos bioactivos, pudiendo ser este último un tema para futuras investigaciones a potencializar.

En cuanto a digestión anaerobia, se destaca la producción de tecnologías energéticas limpias, empleando suero lácteo para la obtención de biogás y biofertilizantes.

Según el análisis hecho a las principales investigaciones, se encontró que lo ideal es someter el suero a unos pretratamientos de membrana como lo son la microfiltración y ultrafiltración, procesos que permiten fraccionar los componentes y remover el agua del suero, así como también aumentar la inocuidad del sustrato, concentrar componentes del suero para aumentar la pureza de los productos y aumentar los rendimientos de los procesos biotecnológicos.

Dentro de las ventajas de estas tecnologías biotecnológicas se pueden citar la producción de insumos para diferentes industrias, la obtención de compuestos con propiedades biológicas y la producción de combustibles que disminuyan el impacto de este residuo en el medio ambiente y que permitan darle un segundo uso a este residuo.

El suero quesero contiene una gama alta de nutrientes que podrían potencializar su empleo como sustrato de procesos biotecnológicos, que permitirían minimizar el impacto ambiental y productivo con miras a tratar el suero no como un desecho, sino como un coproducto del proceso productivo.

Los autores más citados encuentran que algunas de las desventajas que tiene el empleo del suero como sustrato para procesos biotecnológicos es el control estricto de variables como lo son la temperatura, el control de la inocuidad del proceso, el control de la humedad, el pH, entre otros, ya que su no control puede generar la presencia de microorganismos no deseables que pueden afectar los rendimientos en el producto final.

Otra de las desventajas encontradas es que para estos procesos se requieren grandes volúmenes de suero para lograr óptimos rendimientos, maquinaria tecnificada de difícil adquisición, infraestructura adecuada, y un consumo energético que dificulta su fácil aplicación.

La biorrefinería, según los estudios encontrados, es una de las alternativas tecnológicas útiles para la valorización del suero quesero generado, productos y tecnologías amigables con el medio ambiente, donde la biotecnología juega un papel fundamental al ser una herramienta de producción natural, sostenible y eficiente.

Recomendaciones

Luego de encontrar las tendencias biotecnológicas empleadas para la valorización del suero quesero, se recomienda revisar las tecnologías que pudiesen ser tomadas para la creación de nuevos proyectos que permitan generar ideas y soluciones para que en Colombia este residuo pueda ser tomado como un subproducto de la elaboración del queso.

Sería bueno ahondar y profundizar las metodologías en las cuales la producción literaria no fue tan marcada, que permita ofrecer alternativas y nuevas propuestas para que, desde la escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería, y la Maestría En Biotecnología Alimentaria se fomente la aplicación de procesos biológicos que sean amigables con el medio ambiente y generen mejoras en el sector productivo.

Referencias

- Amiri, S., Rezaei Mokarram, R., Sowti Khiabani, M., Rezazadeh Bari, M., & Alizadeh Khaledabad, M. (2022b). Characterization of antimicrobial peptides produced by *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium lactis* BB-12 and their inhibitory effect against foodborne pathogens. *LWT*, *153*, 112449. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112449>
- Arana, A. (2022). *Biotecnología por colores*.
- Aráuz Solís, M. S. (2020a). *Fermentación de lactosuero para la obtención de etanol y su uso en cervezas y bebidas saborizadas Revisión de Literatura*. *31*, 1–26.
- Asas, C., Llanos, C., Matavaca, J., & Verdezoto, D. (2021a). Whey: environmental impact, uses and applications via biotechnology mechanisms. *Agroindustrial Science*, *11*(1), 105–116. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.13>
- Asla, A. (2020a). *Producción de ácido láctico por vía fermentativa a partir de lactosuero residual*.
- Asunis, F., De Gioannis, G., Dessì, P., Isipato, M., Lens, P. N. L., Muntoni, A., Polettini, A., Pomi, R., Rossi, A., & Spiga, D. (2020). The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorisation. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 276). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111240>

- Batistela, M. (2021). *Permeado de suero como medio de cultivo para la producción de fermentos.*
- Bejarano, E. (2022). *Aprovechamiento del lactosuero dulce para el desarrollo de un concentrado de proteínas séricas.*
- Bella, K., & Venkateswara Rao, P. (2022). Anaerobic co-digestion of cheese whey and septage: Effect of substrate and inoculum on biogas production. *Journal of Environmental Management*, 308. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114581>
- Benítez, A. (2021). *Aprovechamiento de lactosueros generados en queserías artesanales para la producción de proteína unicelular enriquecida (PUC+PP) y probióticos.* 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5711952>
- Bernal, A. (2022). *Aplicaciones y Tecnologías Utilizadas para el Aprovechamiento del Suero Lácteo, la Producción del Suero en Polvo, Derivados y sus Aplicaciones en la Industria en General y de Alimentos.*
- Bertin, L., Grilli, S., Spagni, A., & Fava, F. (2013). Innovative two-stage anaerobic process for effective codigestion of cheese whey and cattle manure. *Bioresource Technology*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.118>
- Betancor Pernia, R. E. (2019a). Permeados concentrados de suero de quesería como medio de fermentación para la producción de etanol alimentario. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*. <http://www.tesisenred.net/handle/10803/669384>

- Bintsis, T., & Papademas, P. (2023). Sustainable Approaches in Whey Cheese Production: A Review. In *Dairy* (Vol. 4, Issue 2, pp. 249–270). MDPI. <https://doi.org/10.3390/dairy4020018>
- Blanco, V. M. C., Oliveira, G. H. D., & Zaiat, M. (2019). Dark fermentative biohydrogen production from synthetic cheese whey in an anaerobic structured-bed reactor: Performance evaluation and kinetic modeling. *Renewable Energy*, *139*, 1310–1319. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.03.029>
- Bolen, T. J., Hasan, M., Conway, T., Stéphane Yaméogo, D. D., Sanchez, P., Rahman, A., & Azam, H. (2022). Feasibility assessment of biogas production from the anaerobic co-digestion of cheese whey, grease interceptor waste and pulped food waste for WRRF. *Energy*, *254*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124144>
- Buchanan, D., Martindale, W., Romeih, E., & Hebishy, E. (2023). Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. In *International Journal of Dairy Technology* (Vol. 76, Issue 2, pp. 291–312). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12935>
- Camacho, C. I., Estévez, S., Conde, J. J., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2022a). Dark fermentation as an environmentally sustainable WIN-WIN solution for bioenergy production. *Journal of Cleaner Production*, *374*, 134026. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.134026>
- Camacho, C. I., Estévez, S., Conde, J. J., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2022b). Dark fermentation as an environmentally sustainable WIN-WIN solution for bioenergy

production. *Journal of Cleaner Production*, 374, 134026.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.134026>

Camila Cabrera Baez, M. (2022). *Alimentos Funcionales: Un Analisis Critico Del Estado Del Arte Del Marco Regulatorio De Colombia*.

Capdevila, V. (2020). Análisis de la etapa de hidrólisis de la lactosa del suero lácteo para la obtención de bioetanol. In *Avances en Ciencias e Ingeniería* (Vol. 11, Issue 4).
<http://www.executivebs.org/publishing.cl/1>

Carrero, S. (2019). *Evaluación del uso de suero lácteo con exopolisacáridos de Lactobacillus delbrueckii en la producción de un queso tipo requesón adicionado con un cultivo probiótico*. 124.

Carrillo-Reyes, J., Celis, L. B., Alatríste-Mondragón, F., & Razo-Flores, E. (2014). Decreasing methane production in hydrogenogenic UASB reactors fed with cheese whey. *Biomass and Bioenergy*, 63, 101–108.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2014.01.050>

Carvalho, P., Costa, C. E., Baptista, S. L., & Domingues, L. (2021). Yeast cell factories for sustainable whey-to-ethanol valorisation towards a circular economy. *Biofuel Research Journal*, 8(4), 1529–1549. <https://doi.org/10.18331/BRJ2021.8.4.4>

Charalambous, P., Shin, J., Shin, S. G., & Vyrides, I. (2020). Anaerobic digestion of industrial dairy wastewater and cheese whey: Performance of internal circulation bioreactor and laboratory batch test at pH 5-6. *Renewable Energy*, 147.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.091>

CODEX. (2003). *Norma del CODEX para sueros en polvo CODEX STAN 289-1995*.

Colombo, B., Villegas Calvo, M., Pepè Sciarria, T., Scaglia, B., Savio Kizito, S., D'Imporzano, G., & Adani, F. (2019). Biohydrogen and polyhydroxyalkanoates (PHA) as products of a two-steps bioprocess from deproteinized dairy wastes. *Waste Management*, 95, 22–31. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2019.05.052>

Córdova, J. (2020). *Ingeniería en biotecnología operaciones unitarias*.

Córdova-Albores, L. C., Zelaya-Molina, L. X., Ávila-Alistac, N., Valenzuela-Ruíz, V., Cortés-Martínez, N. E., Parra-Cota, F. I., Burgos-Canul, Y. Y., Chávez-Díaz, I. F., Fajardo-Franco, M. L., & De los Santos-Villalobos, S. (2020). Omics sciences potential on bioprospecting of biological control microbial agents: the case of the Mexican agro-biotechnology. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 39(1), 147–184. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2009-3>

Costa, C. E., Carvalho, P., & Domingues, L. (2022). Strategic combination of different promoters in lactose metabolisation and host chassis selection for high bioethanol titres from dairy wastes. *Bioresource Technology Reports*, 19, 101131. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2022.101131>

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 2021, Vol. 7, Page 3*, 7(1), 3. <https://doi.org/10.3390/FERMENTATION7010003>

- Cunha, M., Romaní, A., Carvalho, M., & Domingues, L. (2018). Boosting bioethanol production from Eucalyptus wood by whey incorporation. *Bioresource Technology*, *250*, 256–264. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2017.11.023>
- DANE. (2023). *Producto Interno Bruto (PIB) IV trimestre 2022*. 1–51.
- Dębowski, M., Korzeniewska, E., Filipkowska, Z., Zieliński, M., & Kwiatkowski, R. (2014). Possibility of hydrogen production during cheese whey fermentation process by different strains of psychrophilic bacteria. *International Journal of Hydrogen Energy*, *39*(5), 1972–1978. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2013.11.082>
- Dedenaro, G., Costa, S., Rugiero, I., Pedrini, P., & Tamburini, E. (2016). Valorization of Agri-Food Waste via Fermentation: Production of l-lactic Acid as a Building Block for the Synthesis of Biopolymers. *Applied Sciences* 2016, Vol. 6, Page 379, *6*(12), 379. <https://doi.org/10.3390/APP6120379>
- Dinika, I., Nurhadi, B., Masruchin, N., Balia, R. L., & Utama, G. L. (2019). The roles of candida tropicalis toward peptide and amino acid changes in cheese whey fermentation. *International Journal of Technology*, *10*(8), 1533–1540. <https://doi.org/10.14716/IJTECH.V10I8.3661>
- Dosuky, A. S., Elsayed, T. R., Yousef, E. T., Barakat, O. S., & Nasr, N. F. (2022). Isolation, identification, and application of lactic acid-producing bacteria using salted cheese whey substrate and immobilized cells technology. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, *20*(1), 26. <https://doi.org/10.1186/S43141-022-00316-5>

- Elsevier. (2020). *Scopus guía rápida de referencia*. www.elsevier.com/scopus
- Encalada, A. (2019). *El suero de leche: amenaza contaminante para los ríos*.
<https://www.lahora.com.ec/secciones/el-suero-de-leche-amenaza-contaminante-para-los-rios/>
- Ergasheva, Z. K., Sultanov, S. A., & Saparov, J. E. (2023). Analysis of dairy whey food functional modules based on resource-saving technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1231(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1231/1/012042>
- Escalante, H., Castro, L., Amaya, M. P., Jaimes, L., & Jaimes-Estévez, J. (2018). Anaerobic digestion of cheese whey: Energetic and nutritional potential for the dairy sector in developing countries. *Waste Management*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.026>
- Espinosa, A., Romero, E. R., Flórez G, L. Y., & Guerrero, C. D. (2020). *Propuesta metodológica para recopilación y análisis de información de artículos científicos. Un enfoque desde la bibliometría y la revisión sistemática de la literatura*.
- EWPA. (2020). *Economic report 2020*. www.euromilk.org
- FAO. (2021). *Producción y productos lácteos: Productos*. Portal Lácteo.
<https://www.fao.org/dairy-production-products/products/es/>
- FAO - OMS. (2013). Norma general del Codex para el uso de términos lecheros. *Codex*, 2, 1–5.

- FAO-CODEX. (2011). Leche y Productos Lácteos. In *CODEX Alimentarius* (Issue Lima 27).
- FAOSTAT. (2023). *Producción de queso a nivel mundial*.
<https://www.fao.org/faostat/es/#search/QUESO>
- FEDEGAN. (2022). *Estadísticas de Producción de leche Colombia* | Fedegan.
<https://www.fedegan.org.co/estadisticas/produccion-0>
- Fernández Rodríguez, C., Martínez Torres, E. J., Morán Palao, A., & Gómez Barrios, X. (2016a). Biological treatments of cheese whey for biogas and hydrogen production. *Revista ION*, 29(1), 47–62.
- Fernández-Rodríguez, M. J., Puntano, N. F., Mancilla-Leytón, J. M., & Borja, R. (2021). Batch mesophilic anaerobic co-digestion of spent goat batch mesophilic anaerobic co-digestion of spent goat straw bedding and goat cheese whey: Comparison with the mono-digestion of the two sole substrates. *Journal of Environmental Management*, 280, 111733. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111733>
- Franco, S. (2019). *Aislamiento y caracterización de bacterias ácido lácticas nativas como potencial uso en la preservación de productos cárnicos*. 1–22.
- García, C., Rendueles, M., & Díaz, M. (2017). Microbial amensalism in *Lactobacillus casei* and *Pseudomonas taetrolens* mixed culture. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 40(7), 1111–1122. <https://doi.org/10.1007/S00449-017-1773-3>/METRICS

- Gasca, R. (2019). *Análisis tecno-económico de tecnologías alternativas de purificación en el proceso de producción de ácido láctico.*
- Ghasemi, M., Ahmad, A., Jafary, T., Azad, A. K., Kakooei, S., Wan Daud, W. R., & Sedighi, M. (2017). Assessment of immobilized cell reactor and microbial fuel cell for simultaneous cheese whey treatment and lactic acid/electricity production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(14), 9107–9115. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2016.04.136>
- Ghimire, A., Luongo, V., Frunzo, L., Pirozzi, F., Lens, P. N. L., & Esposito, G. (2017). Continuous biohydrogen production by thermophilic dark fermentation of cheese whey: Use of buffalo manure as buffering agent. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(8), 4861–4869. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2016.11.185>
- Giraud M. (2021). *Los emulsificantes usados en productos infantiles nutricionales.* <http://unl.edu.ar>
- Gómez, J. (2022). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. Una revisión. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(01), 129–158. <https://doi.org/10.14482/inde.37.1.637>
- González, G. (2021). La bibliometría responsable, una disciplina relevante en la actualidad. *Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação Em Saúde*, 15(4). <https://doi.org/10.29397/reciis.v15i4.3127>
- Gordillo-Andia, C., Almirón, J., Barreda-Del-Carpio, J. E., Roudet, F., Tupayachy-Quispe, D., & Vargas, M. (2024). Influence of *Kluyveromyces lactis* and *Enterococcus*

faecalis on Obtaining Lactic Acid by Cheese Whey Fermentation. *Applied Sciences* 2024, Vol. 14, Page 4649, 14(11), 4649. <https://doi.org/10.3390/APP14114649>

Guadalupe, D. M., Guzmán, A., Alfredo, E., Aguilar, C., Bautista, M., Rodríguez, G., Aldapa, G., Ramírez, G., & Rosas, C. (2020). *Lactosuero y su problemática con el medio ambiente*.

Hallaji, S. M., Kuroshkarim, M., & Moussavi, S. P. (2019). Enhancing methane production using anaerobic co-digestion of waste activated sludge with combined fruit waste and cheese whey. *BMC Biotechnology*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12896-019-0513-y>

Helal, A., Pierri, S., Tagliazucchi, D., & Solieri, L. (2023). Effect of Fermentation with *Streptococcus thermophilus* Strains on In Vitro Gastro-Intestinal Digestion of Whey Protein Concentrates. *Microorganisms*, 11(7), 1742. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS11071742/S1>

Herrera-Feijoo, R. J., Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., & Andrade, J. C. (2023). Análisis bibliométrico como una herramienta en la biotecnología ambiental. In *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 72–91). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.17>

Iberdrola. (2020). *¿Qué es la Biotecnología? Tipos y Aplicaciones*. Qué Es La Biotecnología. <https://www.iberdrola.com/innovacion/que-es-la-biotecnologia>

ICONTEC. (2002). *NTC 5098 Productos lácteos. Sueros en polvo*.

IFCN. (2020). *El mundo lácteo hoy*.

https://www.ifcnnetwork.org/en/the_ifcn/welcome/index.php

Iniesta, D. (2020a). *Desarrollo de nuevos productos a base de suero de quesería*.

ITACyL. (2023). *La bioeconomía aplicada a la valorización del lactosuero en alimentación, transformación energética y obtención de bioproductos*.

Jan van Eck, N., & Waltman, L. (2023). *VOSviewer Manual*.

Juliana, A., Torres, A., Alexandra, J., & Pinilla, V. (2023). *CELIDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE SUERO LÁCTEO AUTORES*.

Juodeikiene, G., Zadeike, D., Bartkiene, E., Bartkevics, V., Dikiy, A., & Shumilina, E. (2016). Potential of an exploitation of acid-tolerant antimicrobial microorganisms evolving enzyme systems for the utilization of dairy by-products and lignocellulosic biomass to lactic acid. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 4(NOV), 235099. <https://doi.org/10.3389/FBIOE.2016.00092/BIBTEX>

Kasmi, M. (2018). Biological Processes as Promoting Way for Both Treatment and Valorization of Dairy Industry Effluents. *Waste and Biomass Valorization*, 9(2), 195–209. <https://doi.org/10.1007/S12649-016-9795-7/METRICS>

Korhonen H. (2013). Production and properties of health-promoting proteins and peptides from bovine colostrum and milk. *Cellular and Molecular Biology*.

Lagrange, V. (2020). *Dairy Export Council Ingredients Products Global Markets R*.

- Lech, M. (2021). Optimisation of protein-free waste whey supplementation used for the industrial microbiological production of lactic acid. *Biochemical Engineering Journal*.
- Lisbeth, K. (2022). *Aprovechamiento del suero salado lácteo proveniente de la elaboración de queso fresco artesanal*.
- Liu, J., Dantoft, S. H., Würtz, A., Jensen, P. R., & Solem, C. (2016). A novel cell factory for efficient production of ethanol from dairy waste. *Biotechnology for Biofuels*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/S13068-016-0448-7/FIGURES/7>
- Liu, P., Zheng, Z., Xu, Q., Qian, Z., Liu, J., & Ouyang, J. (2018). Valorization of dairy waste for enhanced D-lactic acid production at low cost. *Process Biochemistry*, 71, 18–22. <https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2018.05.014>
- Lourdes, M. (2020). *Aplicación de los sistemas de filtración con membrana en la industria láctea*. <https://rica.chil.me/post/aplicacion-de-los-sistemas-de-filtracion-con-membrana-en-la-industria-lactea-mc2-298085>
- Lovato, G., Augusto, I. M. G., Ferraz Júnior, A. D. N., Albanez, R., Ratusznei, S. M., Etchebehere, C., Zaiat, M., & Rodrigues, J. A. D. (2021). Reactor start-up strategy as key for high and stable hydrogen production from cheese whey thermophilic dark fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(54), 27364–27379. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2021.06.010>
- Luongo, V., Policastro, G., Ghimire, A., Pirozzi, F., & Fabbricino, M. (2019). Repeated-Batch Fermentation of Cheese Whey for Semi-Continuous Lactic Acid Production

Using Mixed Cultures at Uncontrolled pH. *Sustainability* 2019, Vol. 11, Page 3330, 11(12), 3330. <https://doi.org/10.3390/SU11123330>

MADR. (2022). *Productividad, importaciones y consumo: entre los desafíos del sector lácteo*. <https://mascolombia.com/productividad-importaciones-y-consumo-entre-los-desafios-del-sector-lacteo/>

Martínez, S. (2022). *El lactosuero: ingrediente altamente funcional que en Colombia se desaprovecha*. Especialistas En La Industria Lactea. <https://goula.lat/el-lactosuero-ingrediente-altamente-funcional-que-en-colombia-se-desaprovecha/>

Matassa, S., Pelagalli, V., Papirio, S., Zamalloa, C., Verstraete, W., Esposito, G., & Pirozzi, F. (2022). Direct nitrogen stripping and upcycling from anaerobic digestate during conversion of cheese whey into single cell protein. *Bioresource Technology*, 358, 127308. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2022.127308>

Mazorra, M. (2019). Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal. *CienciaUAT*, 14(1), 133. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1134>

Mazorra-Manzano, M. A., Robles-Porchas, G. R., González-Velázquez, D. A., Torres-Llanez, M. J., Martínez-Porchas, M., García-Sifuentes, C. O., González-Córdova, A. F., & Vallejo-Córdova, B. (2020a). Cheese Whey Fermentation by Its Native Microbiota: Proteolysis and Bioactive Peptides Release with ACE-Inhibitory Activity. *Fermentation* 2020, Vol. 6, Page 19, 6(1), 19. <https://doi.org/10.3390/FERMENTATION6010019>

- Medina, F. (2019). Estudio de las tendencias de investigación con respecto al tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos municipales: un análisis bibliométrico aplicado. In *Biomass & Sustainability (REB&S)* (Vol. 1, Issue 1).
- Meruvu, H. (2023). Strategy for Revalorization of Cheese Whey Streams to Produce Phenylactic Acid †. *Engineering Proceedings*, 37(1).
<https://doi.org/10.3390/ECP2023-14708>
- Milanés Guisado, Y. (2022). *Tutorial de Bibliometrix/Biblioshiny y caso práctico resuelto*.
<https://www.bibliometrix.org/index.html>
- Ministerio de la Protección Social. (2006). Decreto Numero 616 de 2006. *Ministerio de La Protección Social*, 32. <https://www.ica.gov.co/getattachment/15425e0f-81fb-4111-b215-63e61e9e9130/2006D616.aspx>
- Ministerio de salud y de protección social. (2007). *Resolución 2997 de 2007*.
- Ministerio de salud y de protección social. (2010). *Resolución 1031 de 2010*.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (1986). Resolución 2310 de 1986. *Ministerio de Salud, 1986*, 41.
- Montecchio, D., Yuan, Y., & Malpei, F. (2018). Hydrogen production dynamic during cheese whey Dark Fermentation: New insights from modelization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(37), 17588–17601.
<https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2018.07.146>
- Montesdeoca, R. (2019). *Influencia de proteína aislada del suero de leche y mezclas de dos estabilizantes en la elaboración de un helado artesanal*.

- Montoya, S. M. L. (2021). Análisis del Agronegocio de la Cadena Productiva de Lácteos. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2013–2015.
- Moscariello, C., Matassa, S., Pirozzi, F., Esposito, G., & Papirio, S. (2022). Valorisation of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) biomass residues through acidogenic fermentation and co-fermentation for volatile fatty acids production. *Bioresource Technology*, 355, 127289. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2022.127289>
- Nagarajan, D., Nandini, A., Dong, C. Di, Lee, D. J., & Chang, J. S. (2020). Lactic acid production from renewable feedstocks using poly(vinyl alcohol)-Immobilized *lactobacillus plantarum* 23. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 59(39), 17156–17164. https://doi.org/10.1021/ACS.IECR.0C01422/SUPPL_FILE/IE0C01422_SI_001.PDF
- Navas, R. (2020). *Aprovechamiento industrial de lactosuero mediante procesos fermentativos*.
- OCDE-FAO. (2023). *Perspectivas Agrícolas-Sector Lácteo y productos lácteos 2020-2029*. <https://doi.org/10.1787/A0848AC0-ES>
- OCLA. (2022). *SUERO: técnicas limpias para potenciarlo*. <https://www.ocla.org.ar/noticias/23023002>
- OEC. (2022a). Suero en Colombia: The Observatory of Economic Complexity. In *OEC: The Observatory of Economic Complexity* (p. 350).

- Oliveira, C. S. S., Silva, C. E., Carvalho, G., & Reis, M. A. (2017). Strategies for efficiently selecting PHA producing mixed microbial cultures using complex feedstocks: Feast and famine regime and uncoupled carbon and nitrogen availabilities. *New Biotechnology*, 37, 69–79. <https://doi.org/10.1016/J.NBT.2016.10.008>
- Ortega, E. (2022). *Estudio de las propiedades del lacto suero para su uso en la industria heladera.*
- Parashar, A., Jin, Y., Mason, B., Chae, M., & Bressler, D. C. (2016). Incorporation of whey permeate, a dairy effluent, in ethanol fermentation to provide a zero waste solution for the dairy industry. *Journal of Dairy Science*, 99(3), 1859–1867. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10059>
- Pasotti, L., De Marchi, D., Casanova, M., Massaiu, I., Bellato, M., Cusella De Angelis, M. G., Calvio, C., & Magni, P. (2020). Engineering endogenous fermentative routes in ethanologenic *Escherichia coli* W for bioethanol production from concentrated whey permeate. *New Biotechnology*, 57, 55–66. <https://doi.org/10.1016/J.NBT.2020.02.004>
- Peñafiel, E. (2024). *Suero de leche como una alternativa para el desarrollo de productos.*
- Pendón, M. D., Madeira, J. V., Romanin, D. E., Rumbo, M., Gombert, A. K., & Garrote, G. L. (2021). A biorefinery concept for the production of fuel ethanol, probiotic yeast, and whey protein from a by-product of the cheese industry. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(9), 3859–3871. <https://doi.org/10.1007/S00253-021-11278-Y/METRICS>

- Peralta, C. (2023). *Cienciometría, sistema que ayuda a analizar y entender la ciencia*.
<https://www.uv.mx/prensa/general/cienciometria-sistema-que-ayuda-a-analizar-y-entender-la-ciencia/>
- Pes, D. (2022). *Péptidos biológicamente activos derivados de proteínas alimentarias*.
- Pinilla, F. (2022). “*Los pequeños productores de leche difícilmente podrán competir con la leche importada.*” <https://mascolombia.com/los-pequenos-productores-de-leche-dificilmente-podran-competir-con-la-leche-importada/>
- Policastro, G., Cesaro, A., & Fabbicino, M. (2023). Photo-fermentative hydrogen production from cheese whey: Engineering of a mixed culture process in a semi-continuous, tubular photo-bioreactor. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(55), 21038–21054. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2022.07.063>
- Quintero, A. (2018). *Producción de etanol a partir de suero concentrado de queso utilizando la levadura Saccharomyces cerevisiae*. October 2020.
- Raganati, F., Olivieri, G., Procentese, A., Russo, M. E., Salatino, P., & Marzocchella, A. (2013). Butanol production by bioconversion of cheese whey in a continuous packed bed reactor. *Bioresource Technology*, 138, 259–265. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2013.03.180>
- Rao, R., & Basak, N. (2021). Optimization and modelling of dark fermentative hydrogen production from cheese whey by *Enterobacter aerogenes* 2822. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(2), 1777–1800. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2020.10.142>

- Rao, R., & Basak, N. (2022). Sequential Dark-Photo Batch Fermentation and Kinetic Modelling for Biohydrogen Production Using Cheese Whey as a Feedstock. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 194(9), 3930–3960. <https://doi.org/10.1007/S12010-022-03958-W>
- Renneberg, Reinhard., & SüBbier, Darja. (2019). *Biotechnología*. Editorial Reverte.
- Rincón-Pérez, J., Celis, L. B., Morales, M., Alatríste-Mondragón, F., Tapia-Rodríguez, A., & Razo-Flores, E. (2021). Improvement of methane production at alkaline and neutral pH from anaerobic co-digestion of microalgal biomass and cheese whey. *Biochemical Engineering Journal*, 169, 107972. <https://doi.org/10.1016/J.BEJ.2021.107972>
- Rodríguez, A. (2020). Elaboración de una bebida a base de suero lácteo y pulpa de *Theobroma grandiflorum*. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(2), 166. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(18\)166-175](https://doi.org/10.18684/bsaa(18)166-175)
- Rodríguez, N. (2023). *Análisis de alternativas sostenibles para el aprovechamiento del suero quesero.pdf*.
- Rodríguez-Pazo, N., Da Silva Sabo, S., Salgado-Seara, J. M., Arni, S. Al, De Souza Oliveira, R. P., & Domínguez, J. M. (2016). Optimisation of cheese whey enzymatic hydrolysis and further continuous production of antimicrobial extracts by *Lactobacillus plantarum* CECT-221. *Journal of Dairy Research*, 83(3), 402–411. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000352>

- Romão, B. B., Batista, F. R. X., Ferreira, J. S., Costa, H. C. B., Resende, M. M., & Cardoso, V. L. (2014). Biohydrogen production through dark fermentation by a microbial consortium using whey permeate as substrate. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *172*(7), 3670–3685. <https://doi.org/10.1007/S12010-014-0778-5/METRICS>
- Romão, B. B., Silva, F. T. M., Costa, H. C. de B., do Carmo, T. S., Cardoso, S. L., Ferreira, J. de S., Batista, F. R. X., & Cardoso, V. L. (2019). Alternative techniques to improve hydrogen production by dark fermentation. *3 Biotech*, *9*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/S13205-018-1538-Y/METRICS>
- Rosa, P. R. F., Santos, S. C., Sakamoto, I. K., Varesche, M. B. A., & Silva, E. L. (2014). Hydrogen production from cheese whey with ethanol-type fermentation: Effect of hydraulic retention time on the microbial community composition. *Bioresource Technology*, *161*, 10–19. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2014.03.020>
- Rosales, S. (2019). *Evaluación de los efectos del pH, la temperatura, en el proceso fermentativo de suero quesero.*
- Rueda, M. (2019). *Optimización de las condiciones de cultivo de lactobacillus casei empleando suero quesero como fuente de carbono.*
- Saini, P., Beniwal, A., Kokkiligadda, A., & Vij, S. (2017). Evolutionary adaptation of *Kluyveromyces marxianus* strain for efficient conversion of whey lactose to bioethanol. *Process Biochemistry*, *62*, 69–79. <https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2017.07.013>

- Salazar-Manzanares, M., Márquez-Reyes, J., Rodríguez-Romero, B., Méndez-Zamora, G., Luna-Maldonado, A., & Treviño-Garza, M. (2023). *Aprovechamiento de suero de leche para producción de celulosa microbiana* (Vol. 8).
- Sampaio, F. C., de Faria, J. T., da Silva, M. F., de Souza Oliveira, R. P., & Converti, A. (2020). Cheese whey permeate fermentation by *Kluyveromyces lactis*: a combined approach to wastewater treatment and bioethanol production. *Environmental Technology*, 41(24), 3210–3218. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1604813>
- Sanchez, J. (2019). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. Una revisión. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(1), 129–158. <https://doi.org/10.14482/inde.37.1.637>
- Santos, M. I., Lima, A., Mota, J., Rebelo, P., Ferreira, R. B., Pedroso, L., Ferreira, M. A., & Sousa, I. (2021). Extended Cheese Whey Fermentation Produces a Novel Casein-Derived Antibacterial Polypeptide That Also Inhibits Gelatinases MMP-2 and MMP-9. *International Journal of Molecular Sciences* 2021, Vol. 22, Page 11130, 22(20), 11130. <https://doi.org/10.3390/IJMS222011130>
- Sanz Valero, J. (2022). Bibliometría: origen y evolución. *Hospital a Domicilio*, 6(3), 105–107. <https://doi.org/10.22585/hospdomic.v6i3.168>
- Sarkar, O., Rova, U., Christakopoulos, P., & Matsakas, L. (2022). Green hydrogen and platform chemicals production from acidogenic conversion of brewery spent grains co-fermented with cheese whey wastewater: adding value to acidogenic CO₂. *Sustainable Energy & Fuels*, 6(3), 778–790. <https://doi.org/10.1039/D1SE01691A>

- Schachenmayr, F. (2019). *Evaluación de la capacidad del suero lácteo para la producción de biogás*. 43.
- Sequeira, J. P., Escuela, L., Panamericana, A., & Honduras, Z. (2019). *Uso de lacto-suero ácido en la elaboración de bocashi y su efecto en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) cv. Tropicana*.
- SOFEX AMERICAS. (2017). *Incremento del consumo de Queso en Colombia*.
- Solieri, L., Valentini, M., Cattivelli, A., Sola, L., Helal, A., Martini, S., & Tagliazucchi, D. (2022). Fermentation of whey protein concentrate by *Streptococcus thermophilus* strains releases peptides with biological activities. *Process Biochemistry*, *121*, 590–600. <https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2022.08.003>
- Tavares, T., & Malcata, F. X. (2016). Whey and Whey Powders: Fermentation of Whey. *Encyclopedia of Food and Health*, 486–492. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00749-2>
- Tesfaw, A. (2023). The current trends of bioethanol production from cheese whey using yeasts: biological and economical perspectives. *Frontiers in Energy Research*, *11*, 1183035. <https://doi.org/10.3389/FENRG.2023.1183035/BIBTEX>
- Torres, P. (2022). Purificación de proteínas de suero lácteo mediante coacervación con polielectrolitos. *AJEA*, *15*. <https://doi.org/10.33414/ajea.1079.2022>
- Treu, L., Tsapekos, P., Peprah, M., Campanaro, S., Giacomini, A., Corich, V., Kougias, P. G., & Angelidaki, I. (2019). Microbial profiling during anaerobic digestion of

cheese whey in reactors operated at different conditions. *Bioresource Technology*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.084>

USDA. (2023). *La producción de leche de vaca 2023*. <https://portalechero.com/usda-la-produccion-de-leche-de-vaca-en-los-principales-paises-exportadores-se-mantendra-estable-en-2023/>

Valdez Castillo, M., Tahmasbi, H., Pachapur, V. L., Brar, S. K., Vuckovic, D., Sitnikov, D., Arriaga, S., Blais, J. F., & Avalos Ramirez, A. (2021). Production of aroma and flavor-rich fusel alcohols by cheese whey fermentation using the *Kluyveromyces marxianus* and *Debaryomyces hansenii* yeasts in monoculture and co-culture modes. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 96(8), 2354–2367. <https://doi.org/10.1002/JCTB.6763>

Vazquez, A., Marquez, N., & Solís, C. (2020). POR VÍA FERMENTATIVA A PARTIR Noelia Márquez Benito. *Universidad de Oviedo*.

Vico, A. (2023). *Optimización del proceso de hidrólisis de proteína aislada de suero*.

Wen-qiong, W., Yun-chao, W., Xiao-feng, Z., Rui-xia, G., & Mao-lin, L. (2019). Whey protein membrane processing methods and membrane fouling mechanism analysis. *Food Chemistry*, 289, 468–481. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.03.086>

Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein,

functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, 33(6 Pt 1), 756–774. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2015.07.002>

Zhang, R., Li, F., Liu, X., Zhou, X., & Jiang, K. (2023). Valorization of Cheese Whey Powder by Two-Step Fermentation for Gluconic Acid and Ethanol Preparation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/S12010-023-04834-X/METRICS>

Zhou, X., Hua, X., Huang, L., & Xu, Y. (2019). Bio-utilization of cheese manufacturing wastes (cheese whey powder) for bioethanol and specific product (galactonic acid) production via a two-step bioprocess. *Bioresource Technology*, 272, 70–76. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2018.10.001>