

**Revisión bibliográfica de los avances tecnológicos e ingenieriles sobre el aprovechamiento  
del lactosuero.**

Yesica Paola Castro Avendaño

Monografía para optar al título de ingeniería de alimentos

Director

Q.A Golda Meyer Torres Vargas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería -ECBTI

2022

## **Dedicatoria**

Este proyecto va dedicado a mi familia, que siempre me ha apoyado en el desarrollo de mis estudios. A mis compañeras de universidad que siempre trabajaron de la mano conmigo para llevar un mejor proceso universitario y finalmente a mi docente guía en este trabajo.

### **Agradecimientos**

A mis profesores que contribuyeron con el desarrollo de mi formación profesional como próxima ingeniera de alimentos, especialmente a la docente Golda Meyer Torres como docente guía de mi trabajo de grado.

A mi familia, a quienes fueron parte fundamental de mi logro académico y apoyo primordial durante todo el proceso.

## Resumen

La presente monografía se deriva del proyecto de investigación PG-19 de la convocatoria interna 008 denominado “ Viabilidad técnico-ingenieril a escala piloto para la valorización del suero ácido, derivado de la elaboración del queso doble crema en las empresas lácteas del municipio de Belén (Boyacá) y tiene como fin exponer a partir de la revisión de la literatura científica un análisis argumentativo sistemático, comparativo, crítico y reflexivo de la gestión internacional y nacional sobre el aprovechamiento del lactosuero para considerarlo como un coproducto para la creación de diversos productos, los cuales en muchos países del mundo ya son comercializados y han generado impactos positivos en la economía.

La monografía se desarrolló en seis (6) etapas a saber: etapa 1: Inicio: Revisión de la disponibilidad de bases de datos institucionales; etapa 2. Desarrollo del Capítulo 1. Referentes teóricos; etapa 3. Desarrollo capítulo 2 Tecnologías Para la Recuperación y Aprovechamiento del Lactosuero en el Escenario Internacional y Nacional; Etapa 4. Desarrollo capítulo 3. Análisis de los aspectos que condiciona el valor agregado del lactosuero en el escenario nacional; Etapa 5: Entrevista a expertos conocedores del tema y reflexión personal; Etapa 6: Entrega y sustentación de los resultados de la monografía. Este trabajo promueve el aprovechamiento del lactosuero, desde la parte bibliografía aporta un valor para la gestión de nuevos proyectos académicos, de producción e inversión incentivando a los estudiantes e industriales.

### Palabras clave

Suero, aprovechamiento lactosuero, valorización lactosuero, gestión lactosuero, subproducto, coproducto.

## **Abstract**

This monograph is derived from the PG-19 research project of the internal call 008 called "Technical-engineering feasibility on a pilot scale for the valorization of acid whey, derived from the elaboration of double cream cheese in the dairy companies of the municipality of Belén ( Boyacá) and aims to present, based on the review of the scientific literature, a systematic, comparative, critical and reflective argumentative analysis of international and national management on the use of whey to consider it as a co-product for the creation of various products, which in many countries of the world are already marketed and have generated positive impacts on the economy.

The monograph will be developed in five (5) stages, namely: stage 1: Start: Review of the availability of institutional databases; stage 2. Development of Chapter 1. Theoretical references; stage 3. Development chapter 2 Technologies for the Recovery and Use of Whey in the International and National Scenario; Stage 4. Development of chapter 3. Analysis of the aspects that condition the added value of whey in the national scenario; Stage 5: Interview with experts familiar with the subject and personal reflection; Stage 6: Delivery and support of the results of the monograph. This work promotes the use of whey, from the bibliography part it provides value for the management of new academic, production and investment projects, encouraging students and industrialists.

## **Key Words**

Whey, whey use, whey recovery, whey management, by-product, co-product..

## Tabla de contenido

Introducción .....	19
Planteamiento del problema.....	22
Justificación .....	23
Objetivos.....	26
Objetivo general.....	26
Objetivos específicos .....	26
Metodología .....	27
Referentes Teóricos .....	29
Definición .....	29
Obtención de lactosuero.....	30
Micelas de caseína .....	31
Coagulación enzimática .....	31
Fase enzimática Primaria .....	32
Fase de coagulación secundaria .....	33
Coagulación acida.....	34
Composición Química del Lactosuero.....	36
Descripción de los principales constituyentes del lactosuero .....	38
Proteínas.....	38
$\alpha$ -lactoalbúmina .....	38
Lactoferrina (Lf) .....	39
$\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -Lg).....	40
Lípidos .....	40

Lactosa .....	40
Minerales.....	40
Vitaminas .....	41
Tipos de Suero .....	42
Suero Salado .....	42
Suero Ácido .....	45
Suero Dulce.....	51
Tecnologías Para la Recuperación y Aprovechamiento del Lactosuero en el Escenario	
Internacional y Nacional.....	56
Fraccionamiento de los componentes del lactosuero.....	56
Proteínas.....	60
Clasificación de las proteínas del lactosuero según su pureza.....	61
Carbohidratos .....	62
Lípidos .....	62
Técnicas convencionales empleadas para la recuperación de los constituyentes del	
lactosuero y/o para su aprovechamiento .....	64
Electrodialisis (ED).....	64
Conceptualización y/o definiciones .....	64
Descripción del proceso .....	65
Revisión literatura científica.....	68
Microencapsulación .....	73
Conceptualización y o definiciones .....	73
Descripción del proceso .....	75

Operación de Variables.....	78
Revisión Literaria Científica.....	79
Secado por aspersión -secado por pulverización .....	82
Conceptualización y o definiciones .....	82
Descripción del proceso.....	83
Revisión literaria científica.....	85
Liofilización.....	88
Conceptualización y/o definiciones .....	88
Descripción del proceso.....	89
Equipo de liofilización.....	91
Revisión Literaria científica.....	93
Filtración por membranas .....	95
Conceptualización.....	95
Diafiltración (Df). .....	97
La ultrafiltración. ....	98
Microfiltración. ....	98
Osmosis Inversa. ....	99
Nanofiltración .....	99
Descripción del proceso.....	99
Revisión Literaria Científica.....	102
Técnicas emergentes empleadas para la recuperación de los constituyentes del lactosuero y/o para su aprovechamiento .....	104
Ultrasonido y Cavitación .....	104

Conceptualizaciones o definiciones .....	104
Descripción del proceso .....	106
Revisión literaria Científica .....	107
Calentamiento óhmico (OH).....	111
Descripción del proceso .....	112
Revisión literaria científica .....	114
Fluidos supercríticos .....	117
Conceptualización.....	117
Descripción del proceso .....	119
Revisión literaria científica .....	121
Altas presiones hidrostáticas.....	123
Conceptualización.....	123
Descripción del proceso .....	124
Equipos de proceso .....	125
Cámara de tratamiento .....	126
Sistema generador de presión .....	126
Revisión literatura científica .....	128
Plasma frio .....	130
Conceptualización.....	130
Descripción del proceso .....	131
Revisión literatura científica .....	134
Técnicas biotecnológicas empleadas para la recuperación de los constituyentes del lactosuero y/o para su aprovechamiento .....	136

Biofermentación.....	136
Conceptualización.....	136
Descripción del proceso.....	137
Revisión literaria.....	138
Hidrólisis enzimática .....	141
Conceptualización.....	141
Descripción del proceso.....	141
Revisión literatura científica.....	144
Análisis de los aspectos que condiciona el valor agregado del lactosuero en el escenario nacional. .....	147
Aspecto Social .....	147
Aspectos Ambientales.....	151
Aspecto económico.....	153
Aspecto Normativo .....	158
La opinión de los expertos .....	161
¿La industria láctea en Colombia está aprovechando el lactosuero?.....	162
¿Qué tecnologías considera que son las más eficientes para el tratamiento del lactosuero en Colombia?.....	163
¿Cómo se encuentra Colombia referente al contexto internacional en cuanto a la aplicación de tecnologías convencionales e innovadoras para el aprovechamiento del lactosuero? .....	163
¿Cuáles considera que sean los obstáculos en Colombia para el aprovechamiento del lactosuero? .....	164

¿Qué empresas conoce usted que en Colombia están dando un aprovechamiento al lactosuero? .....	165
¿La universidad donde labora que investigaciones se encuentra desarrollando para el aprovechamiento del lactosuero, como han vinculado a la comunidad? .....	166
Reflexión personal .....	170
Conclusiones .....	172
Recomendaciones .....	175
Referencias .....	176
Apéndice .....	206
Apéndice A .....	206
Apéndice B.....	206
Apéndice C resumen analítico RAE .....	207

### Lista Tablas

Tabla 1	Características de coagulación de la leche en la obtención del lactosuero .....	30
Tabla 2	Factores que influyen sobre la coagulación enzimática.....	34
Tabla 3	Características de la formación de la coagulación ácida de la leche. ....	35
Tabla 4	Composición general aproximada del lactosuero. ....	36
Tabla 5	Composición química comparativa lactosuero dulce y acido.....	37
Tabla 6	Composición de minerales del suero .....	41
Tabla 7	Contenido de vitaminas del lactosuero .....	41
Tabla 8	Concentración del suero Salado.....	43
Tabla 9	Productos y usos estudiados del lactosuero salado.....	44
Tabla 10	Componentes del suero acido producto de la elaboración de productos .....	46
Tabla 11	Investigaciones de productos y usos del lactosuero acido.....	48
Tabla 12	Composición del suero dulce .....	53
Tabla 13	Investigaciones y usos de productos a partir del suero Dulce. ....	53
Tabla 14	Principales usos de la proteína de lactosuero en la industria alimentaria.....	61
Tabla 15	Componentes y Actividad biológica.....	63
Tabla 16	Matriz de operaciones variables de proceso electrodiálisis .....	68
Tabla 17	Investigaciones recientes aplicando método de eletrodiálisis.....	71
Tabla 18	Descripción de técnicas de microencapsulación.....	76
Tabla 19	Matriz operacionalización variables de proceso de microencapsulación .....	78
Tabla 20	Investigaciones recientes aplicando método de microencapsulación .....	81
Tabla 21	Matriz operacionalización de variables de proceso de secado por pulverización y por aspersión .....	85

Tabla 22 Investigaciones recientes aplicando método de secado por aspersión y pulverización	87
Tabla 23 Matriz de operacionalización variables del proceso de liofilización.....	93
Tabla 24 Investigaciones recientes aplicando método de liofilización.....	95
Tabla 25 Correlación de diferentes tipos de filtración.....	97
Tabla 26 Variables de operacionalización proceso de filtración por membranas .....	101
Tabla 27 Investigaciones recientes del lactosuero aplicando método de filtración por membranas .....	103
Tabla 28 Matriz operacionalización variables de proceso de ultrasonido. ....	107
Tabla 29 Investigaciones recientes aplicando método de ultrasonido .....	109
Tabla 30 Variables de operacionalización proceso de calentamiento óhmico .....	113
Tabla 31 Investigaciones recientes aplicando método de calentamiento óhmico.....	116
Tabla 32 Matriz de variables de operacionalización proceso de fluidos super críticos.....	121
Tabla 33 Investigaciones recientes de la aplicación de fluidos super críticos .....	122
Tabla 34 Matriz de operacionalización proceso de altas presiones Hidrostáticas .....	127
Tabla 35 Investigaciones recientes aplicando método de altas presiones hidrostáticas .....	129
Tabla 36 Matriz operacionalización variables de proceso de plasma frío .....	133
Tabla 37 Investigaciones recientes aplicando método de plasma frío .....	135
Tabla 38 Investigaciones recientes sobre el método de Biofermentación aplicado al lactosuero .....	140
Tabla 39 Matriz operaciones variables de proceso de Hidrolisis enzimática .....	144
Tabla 40 Investigaciones recientes aplicando método de hidrolisis enzimática.....	146
Tabla 41 Empresas que aprovechan el lactosuero en Colombia.....	149
Tabla 42 Requisitos microbiológicos generales de los lactosueros. ....	159

Tabla 43 Características del lactosuero líquido y en polvo .....	159
Tabla 44 Presenta características microbiológicas del suero en polvo .....	160

## Lista de figuras

Figura 1 Cantidad de artículos revisados para el desarrollo de la monografía. ....	27
Figura 2 Desarrollo de la metodología de análisis de contenidos.....	28
Figura 3 Fases del proceso bioquímico de la coagulación enzimática de la leche para la obtención de lactosuero.....	32
Figura 4 Hidrólisis específica del enlace Fen105-Met106 de la $\kappa$ -caseína.....	33
Figura 5 Descripción de la coagulación ácida de la leche. ....	35
Figura 6 Diagrama de obtención del lactosuero salado. ....	44
Figura 7 Diagrama de obtención del lactosuero acido.....	45
Figura 8 Diagrama de obtención del suero dulce por medio de coagulación enzimática usando la quimosina.....	52
Figura 9 Posibles usos directos del lactosuero.....	56
Figura 10 Diagrama de flujo para el fraccionamiento del lactosuero por medio de la tecnología de membranas. ....	58
Figura 11 Diferentes alternativas aplicadas al procesamiento del lactosuero.....	58
Figura 12 Tecnologías para la utilización del suero .....	59
Figura 13 Procesamiento del lactosuero liquido.....	60
Figura 14 Esquema de un Electro dializador. ....	66
Figura 15 Diagrama del montaje experimental del electro dializador tipo kel'f.....	67
Figura 16 Sistemas de encapsulación .....	75
Figura 17 Procedimiento de secado por aspersion aplicado en la microencapsulación .....	78
Figura 18 Etapas del secado por aspersion .....	84
Figura 19 Representación esquemática de una boquilla.....	84

Figura 20	Etapas del proceso de liofilización .....	90
Figura 21	Modelo para el frente de hielo en retroceso en el secado por congelación .....	91
Figura 22	Esquema de un equipo de liofilización.....	91
Figura 23	Modelos de liofilizadores para plantas piloto y laboratorios.....	92
Figura 24	Liofilizador en línea completa.....	92
Figura 25	Filtración por membranas.....	96
Figura 26	Componentes lácteos .....	100
Figura 27	Clasificación de procesos que utilizan membranas. ....	100
Figura 28	Montaje sistema de Ultrafiltración (UF) .....	101
Figura 29	Diagrama experimental del tratamiento de ultrasonido y fermentación microbiana	109
Figura 30	Diagrama de Calentamiento óhmico .....	113
Figura 31	Configuración de Calentamiento óhmico .....	116
Figura 32	Diagrama básico de extracción supercrítica .....	119
Figura 33	Aparato de extracción de fluidos super críticos .....	120
Figura 34	Diagrama de proceso de Altas presiones Hidrostáticas.....	125
Figura 35	Tipos de cilindros según el tratamiento por APH a aplicar.....	126
Figura 36	Sistema directo e indirecto de generación de presión .....	127
Figura 37	Proceso de ionización y de transferencia de energía de átomos o moléculas. ....	132
Figura 38	Métodos de generación de plasma frío.....	133
Figura 39	Vías de fermentación más comunes en el lactosuero .....	138
Figura 40	Flujo típico de producción de péptidos bioactivos.....	142
Figura 41	Ecuación para proceso de Hidrolisis Enzimática .....	143
Figura 42	Sistema de reacción de hidrolisis. ....	143

Figura 43 Empresas lácteas más Grandes en Colombia .....	147
Figura 44 Distribución de tipos de quesos .....	148
Figura 45 Consumo anual per cápita de leche en el mundo. ....	153
Figura 46 Leche expulsada como suero luego de la fabricación de queso .....	154
Figura 47 Principales importadores de lactosuero a nivel internacional .....	155
Figura 48 Exportaciones e importaciones de leche y derivados lácteos .....	156
Figura 49 Exportaciones de la industria láctea en un periodo de enero a julio de 2021 .....	157

**Tala de apéndices**

Apéndices.....	206
Apéndice A.....	206
Apéndice B .....	206
Apéndice C.....	207

## Introducción

La industria láctea por medio de la producción de quesos (Frescos, blandos , cremosos, cheddar, colby) y yogures (griego) produce un subproducto conocido como lactosuero, el cual es definido como el líquido que queda luego de la eliminación de la caseína por medio de la coagulación de cuajo o ácido (Price, 2018); este contiene aminoácidos esenciales necesarios para la alimentación diaria (Rocha et. al., 2021). Compuesto aproximadamente por la mitad de sólidos totales (6.5% en peso) de la leche, incluye alrededor del 20% de la proteína de la leche, la lactosa representa el 75% y la proteína cruda el 13%. Se caracteriza por su color verde amarillento. Tradicionalmente se clasifica en tres tipos de lactosuero, el lactosuero ácido, dulce y salado. (Talebi, et. al., 2019).

En la actualidad la industria láctea ha batallado para encontrar aplicaciones acertadas y sostenibles tanto económicamente como ambientalmente, para dar un uso funcional al lactosuero debido a sus características composicionales (Costa et. al., 2018a). El lactosuero presenta alta demanda biológica de oxígeno por lo cual no es adecuado desecharlo por medio de cuencas hídricas y en el ecosistema general; produce un daño irreversible al medio ambiente cuando éste es eliminado de forma inadecuada. Por su alto contenido de ácido y NaCl (Talebi, et. al., 2019) ha retado a las industrias como a la academia, generando nuevas líneas de investigación y aplicaciones que se pueden dar a través del aprovechando de las propiedades esenciales que otorga.

En el capítulo uno se presentan los referentes teóricos relacionados con el lactosuero, representando la importancia para el desarrollo de esta investigación permitiendo transmitir la interpretación y fuente general del proyecto, su escala permite transferir el punto de partida para el conocimiento global del aprovechamiento de este subproducto (Price, 2018) . El desarrollo de

este apartado inicia con la definición de lactosuero como la descripción de la obtención a través de dos vías (coagulación enzimática y ácida). Se expone los tipos de lactosuero que se genera según el procesamiento para la obtención de quesos; aquí se hace distinción entre suero salado, ácido y dulce; para cada tipo de lactosuero se reúne información sobre composición química, principales características y se entrega una síntesis de algunas de las investigaciones más recientes de cada tipo de lactosuero que relacionan el uso directo o la obtención de sus componentes para posteriores aplicaciones.

Actualmente las tecnologías emergentes se han estudiado como sustituto de los tratamientos/métodos convencionales aplicados en la industria de alimentos y bebidas, con el objetivo de que se preserven mejor sus características nutritivas y sensoriales, en diferentes estudios las tecnologías emergentes han demostrado un gran potencial para controlar procedimientos de extracción (Ferreira et. al., 2019) En el capítulo dos de la presente investigación se presentan la electrodiálisis, microencapsulación, secado por aspersión o pulverización, liofilización y filtración de membranas las cuales se han aplicado sobre el tratamiento del lactosuero desde hace varios años y en algunos casos esto provoca pérdida en las características sensoriales y nutricionales del lactosuero. Dentro de las tecnologías emergentes se mencionan ultrasonido, calentamiento óhmico, fluidos supercríticos, Altas Presiones Hidrostáticas, plasma frío y métodos biotecnológicos como Biofermentación e Hidrolisis enzimática, siendo una excelente alternativa para sustituir las técnicas convencionales.

Por la información ya recolectada en diferentes literaturas se conoce el potencial del lactosuero por su composición, contenido alimenticio y uso en la industria como coproducto, en el capítulo tres se expone y resalta la importancia del lactosuero desde el contexto nacional e internacional, el beneficio que trae para Colombia en el ámbito social al generar y promover las

iniciativas como creación de clústeres y el emprendimiento de nuevos proyectos, en el aspecto ambiental se conocerá que se está haciendo para mitigar el impacto del uso dado al lactosuero y la implementación de nuevas reglamentaciones en otros países, en el área económica como esta Colombia en relación con otros países respecto a la producción de leche y lactosuero, que normatividad se lleva a cabo y puntos de vista de expertos en el tema de avances tecnológicos y uso del lactosuero en Colombia.

## Planteamiento del problema

Actualmente en Colombia y en muchos países de Latinoamérica se presenta una problemática para la industria láctea dado que no es aprovechado el lactosuero resultante la producción de Quesos duros y semi duros , yogurt griego y requesón el cual contiene crecientemente el 25% de las proteínas de la leche, 8% de materia grasa y alrededor del 95% de la lactosa lo que implica que al menos el 50% (en peso ) de los nutrientes provenientes que contiene la leche y quedan en el lactosuero (Castells et al., 2017). La industria láctea genera una gran cantidad de desechos sólidos y líquidos a partir de la producción de sus derivados. El aumento en la demanda de productos lácteos a nivel mundial ha llevado al enorme crecimiento del sector lácteo lo que repercute a una mayor liberación de sustancias toxicas en la reserva de agua o de tierra (Wahyuni, 2020) , se ha luchado para encontrar una aplicación económica y sostenible sobre todo en los países de Latinoamérica donde muchas veces la falta de conocimiento sobre los productos que se pueden producir por este coproducto a nivel industrial. Por tal motivo en la presente propuesta de monografía se trazan los siguientes planteamientos:

¿La revisión exhaustiva del estado del arte permite compilar información sobre las metodologías, técnicas y tecnologías innovadoras y emergentes que se han desarrollado y aplicado a nivel internacional y nacional para el aprovechamiento del lactosuero?

¿A partir de la revisión de la literatura científica se puede realizar un análisis argumentativo sobre los contextos socio-económicos, normativos y tecnológicos que condicionan el aprovechamiento del lactosuero en el escenario internacional y nacional?.

## Justificación

En la actualidad existen investigaciones que afirman que mundialmente se producen aproximadamente 115 millones de toneladas de suero, se tiene cifras concretas por ejemplo en el año 2005, Europa aportó el 53% de la producción de lactosuero, seguido de América del Norte y central con el 28% de participación, Asia con el 6%, África con el 5%, Oceanía 4% y América del sur con el 4% (Almécija, 2007), independiente de cualquiera que sea el país y la porcentualidad de participación, el 45% del suero obtenido se desecha en ríos y aguas servidas o directamente en el suelo, Londoño, M. (2006) y Motta, J. & Mosquera, W. (2015), lo cual es una cifra muy alta y que genera una preocupación mundial debido a la repercusión que esta situación tiene en el medio ambiente. Teniendo en cuenta varios estudios realizados en la producción de quesos, el suero representa entre el 85% a 90% de volumen de la leche y el cual en algunos países de Latinoamérica como Argentina, México, Brasil y por supuesto Colombia no existe una gestión de lactosuero desde las entidades territoriales ni desde el sector empresarial para considerarlo como coproducto, caso contrario son los países Europeos en donde por ejemplo el lactosuero es la materia prima principal para generar energía en las empresas queseras por medio de biodigestores generando misma sostenibilidad de la Empresa (“All the Whey,” 2017).

El lactosuero representa un gran volumen de residuos resultado de la producción del sector lácteo lo que representa un grave peligro para los ecosistemas. A nivel mundial cada año se libera alrededor de 4 a 11 millones de toneladas de residuos los cuales contaminan suelos y cuerpos de agua dada por su capacidad para actuar como sustrato de fermentación microbiana(Ahmad et al., 2019).

Colombia es el país de la región andina mas grande en la producción de lácteos y en

América latina ocupa el cuarto puesto como productor de leche por debajo de países como Brasil, Argentina y México. En Colombia la producción lechera se extiende a 22 departamentos en los que se encuentran encabezando la producción Cundinamarca, Antioquia, Boyacá. Teniendo en cuenta *la información estadística de importaciones y exportaciones para tu empresa* con estadísticas publicadas en 2018 Colombia al año produce alrededor de 7000 millones de litros de leche donde el 50% es procesado por grandes compañías de la industria láctea y el 50% restante es comercializado de manera informal las compañías grandes deben cumplir normas vigentes que impiden que sus residuos generados causen un gran impacto ambiental sin embargo no es suficiente y conlleva no solo a generar impactos negativos al ambiente, sino también impactos económicos, técnicos y sociales, lo anterior sin tener en cuenta el manejo y disposición del lactosuero en la pymes lácteas donde el panorama no es alentador. En la exposición de la Política Nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo Colombiano (COONPES 3675, 2010) se analizan las problemáticas de la cadena láctea las cuales se sintetizan en el alto costo de producción y la baja productividad de la leche, así como el alto nivel de informalidad en la comercialización, la baja capacidad de pulverización, el bajo consumo y la poca diversificación del mercado y sus efectos en la competitividad del subsector nacional. Desde el 2009 las exportaciones han registrado un crecimiento promedio anual de 4% siendo la leche en polvo lo que más se exporta, en términos de importaciones la tasa de crecimiento anual está en el mismo porcentaje identificando que el producto que el país más requiere ingresar es lactosuero.

Un alto número de investigaciones a nivel mundial se han venido desarrollando a fin de encontrar alternativas que permitan recuperar y/o valorizar el suero a partir de las características fisicoquímicas, nutricionales y funcionales de sus constituyentes. Estas publicaciones dan

evidencia científica de procedimientos y tecnologías que generan viabilidad para la valorización del lactosuero por lo tanto a través de un análisis expositivo, argumentativo, crítico se pretende dar a conocer los avances científicos y alternativas encontradas para el manejo del suero lácteo en países desarrolladas los cuales son referentes tecnológicos que permiten generar una comparación con el contexto nacional a fin de generar un diagnóstico actual del manejo de lactosuero en Colombia. Los resultados de esta monografía pueden servir de base para formular propuestas que propendan por la generación de acciones de gestión y herramientas de mejora para un mejor aprovechamiento del lactosuero y dejar de verlo como un residuo para considerarlo un coproducto.

Sumado a las razones anteriores, la formulación de esta propuesta promueve la cultura investigativa en el Estudiante, desarrolla competencias académicas y fortalece conocimientos desde la formulación del proyecto hasta la entrega del mismo. Desde la intensa búsqueda de información, hasta el desarrollo de la propuesta, se pone en práctica valiosos conocimientos del programa como los vistos en los cursos de seminario de investigación, procesos lácteos, balance de materia y energía, transferencia de calor y masa.

Por otra parte, se desarrolla la pertinencia institucional del estudiante hacia la comunidad y de la comunidad hacia la Universidad al formular propuesta de este tipo que redunde en el beneficio de la población que hace parte de la cadena láctea en Colombia y Boyacá.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Realizar un análisis sistemático, comparativo, crítico y reflexivo sobre la información obtenida de fuentes primarias y secundarias acerca de los avances tecnológicos e ingenieriles sobre el aprovechamiento del lactosuero.

### **Objetivos específicos**

Interpretar la literatura científica para compilar información sobre procedimientos de las diferentes tecnologías convencionales y emergentes aplicadas en el aprovechamiento del lactosuero.

Inferir sobre la disponibilidad y aplicabilidad de las tecnologías convencionales y emergentes en el aprovechamiento del lactosuero desde el contexto internacional y nacional.

Elaborar un análisis argumentativo sobre los referentes socioeconómicos y normativos que condicionan el valor agregado del lactosuero en el escenario internacional y nacional.

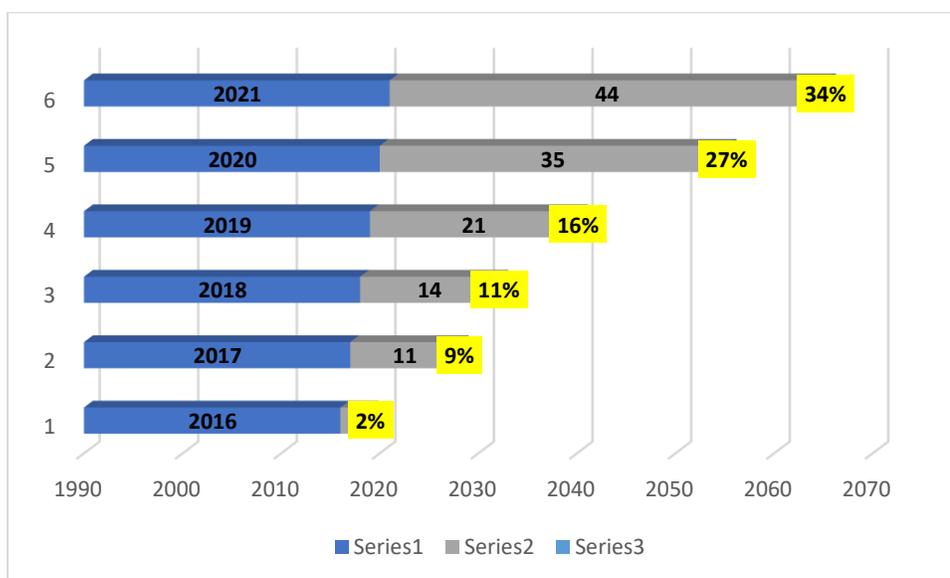
Reunir información acerca del grado de intensidad tecnológica como indicador de innovación en el aprovechamiento del lactosuero a nivel Colombia.

## Metodología

Para el desarrollo de la presente monografía se revisaron alrededor de 176 artículos, en donde el 73% corresponden a trabajos científicos publicados entre los años 2016 y 2021 en revistas multidisciplinarias halladas en la base de datos como Scopus, DOAJ, Dialnet, Proquest y ScienceDirect, (figura1). También se realizaron entrevistas por medio de herramientas digitales a dos conocedores expertos en el tema sobre el aprovechamiento del lactosuero en Colombia, la Docente Ximena Quintanilla de la Universidad de la Sabana y el profesor Edison Bejarano de la universidad de Antioquia, se mencionan puntos de vista expuesto por el Dr. José Uriel Sepúlveda director del laboratorio productos lácteos Universidad Nacional Sede Medellín.

### Figura 1

*Cantidad de artículos revisados para el desarrollo de la monografía.*

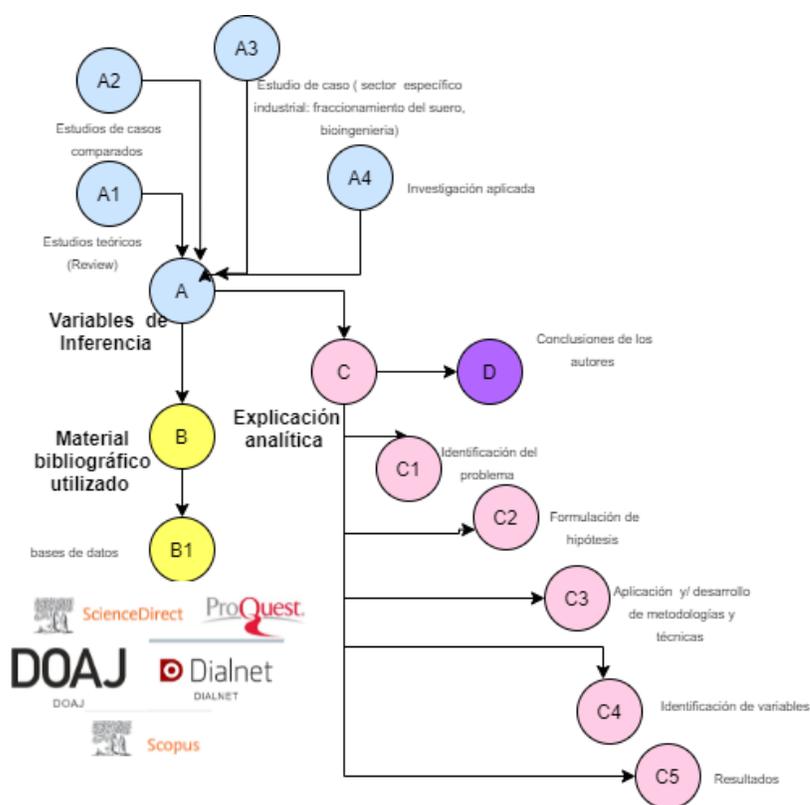


*Nota.* La figura presenta la cantidad de artículos revisados por año en una ventana de tiempo de siete años.  
Fuente: elaboración propia.

Se utilizó la técnica de análisis de contenidos mediante el método intensivo externo y de inferencia para agrupar la información de una forma sistemática, cuantitativa y objetiva resaltando resultados e impactos para el aprovechamiento del lactosuero. En la figura 2 se presenta las variables de inferencia (A,B, C y D) para el desarrollo del análisis bibliométrico.

**Figura 2**

*Desarrollo de la metodología de análisis de contenidos.*



*Nota.* La figura presenta las variables de inferencia (A, B, C y D) para el desarrollo del análisis bibliométrico. Fuente: partir de Abela, J. (2018).

## Referentes Teóricos

### Definición

El suero es el líquido que resulta de la eliminación de caseína por la coagulación enzimática o ácida (Price, 2018; Castells et. al., 2017), este contiene aminoácidos esenciales necesarios en la alimentación diaria, está compuesto por aproximadamente la mitad de sólidos totales (6.5% en peso) de la leche el cual incluye alrededor del 20% de la proteína de la leche de los sólidos de suero Rocha et. al., (2021), la lactosa representa el 75% y la proteína cruda el 13% Castells et. al., 2017, el suero contiene poca o nada de grasa lo que lo representa como una excelente fuente para la preparación de otros alimentos. Se caracteriza por su color verde amarillento, como resultado de la presencia de riboflavina (Vitamina B12). usualmente clasificado en dos tipos suero, ácido o dulce en ocupación de sus condiciones de procesamiento. (Rocha et. al., 2021).

También es definido como el mejor subproducto de la fabricación de quesos reconocido por su alto valor nutritivo y biológico, atribuido principalmente a proteínas ricas en aminoácidos sulfurados y cadenas ramificadas esenciales (Maciel et al., 2020). Su variedad de proteínas incluye B-lactoglobulina (~50%),  $\alpha$ -lactoalbúmina (~20%), albumina de suero bovino (~10%) y otras fracciones proteicas menores con aplicación en la industria alimentaria. (Bustamante et. al., 2021).

Desde el punto normativo, el Codex Alimentario el suero es definido como el producto lácteo líquido que se obtiene durante la elaboración de queso, caseína o productos similares los cuales mediante la separación de la cuajada después de la coagulación de la leche o productos derivados. (Gasc et. al., 2018)

El Instituto de Vigilancia de medicamentos y alimentos determina el lactosuero como una sustancia líquida que se obtiene como residuo durante la elaboración del queso, se encuentra compuesto principalmente de lactosa conjuntamente de proteínas, minerales y grasas el cual al darle un uso adecuado se aprovechan sus propiedades reduciendo impactos ambientales por posible eliminación en suelos, lagos, ríos etc. (INVIMA,2021)

### **Obtención de lactosuero**

El lactosuero se obtiene mediante coagulación de la leche, este proceso hace que se obtenga un gel como resultado de las modificaciones fisicoquímicas de las micelas de caseína.

Existen dos formas de obtención del lactosuero por coagulación enzimática y por acidificación. En la tabla 1 se resumen las principales características de estos dos mecanismos.

**Tabla 1**

*Características de coagulación de la leche en la obtención del lactosuero*

	Acción de enzimas	Acidificación
<b>Proceso bioquímico</b>	Acción enzimática (Lactosa no degrada)	Fermentación láctica
<b>Modificación de la caseína</b>	Transformación en paracaseína y separación de una parte no proteica	Sin modificaciones química de la proteína
<b>pH</b>	6,8	4,6
<b>Composición del coágulo</b>	Fosfoparacaseinato de calcio	Caseína (desmineralizada)
<b>Aspecto del coágulo</b>	Gel elástico impermeable	Cuajada desmenuzable sin cohesión
<b>Sinéresis</b>	Rápida	Lenta

*Nota.* Muestra las características de las dos formas de coagulación de la leche en la obtención del lactosuero, por acción de enzimas y por acidificación tomado de s.f 2021.

## **Micelas de caseína**

La caseína representa aproximadamente el 80% del total de proteínas de la leche de vaca Casanova et. al., (2021) y el 2.7% en composición química de la leche (Upo, 2014). La caseína está compuesta de cuatro moléculas primas: Alpha ( $\alpha_1$ ) caseína, Alpha ( $\alpha_2$ ) caseína,  $\beta$ -caseína y  $\kappa$ -Caseína. La proporción másica de moléculas de caseína en leche es de 30, 10, 36 y 14% respectivamente Ranadheera et. al., (2016). Este grupo de caseínas se encuentran bajo la forma de complejos macromoleculares llamados micelas y haciendo parte de su estructura el fosfato cálcico. Este grupo de proteínas son fácilmente aislables por centrifugación o precipitación isoelectrica a pH 4.6; esta última propiedad es empleada industrialmente en la fabricación de quesos (Cheftel et al., 1989, p.181).

La estabilidad del conjunto de las caseínas de  $\kappa$ -Caseína, de hecho, cuando esta caseína se mezcla con enzimas proteasas como la quimosina, pepsina u otra de origen fúngico conduce a una desestabilización de las demás caseínas (Cheftel et al., 1989, p.205).

## **Coagulación enzimática**

La coagulación de la leche se puede llevar a cabo por enzimas proteolíticas como la pepsina y la quimosina de muy variado origen: bacterias fúngicas, vegetales o animales. El cuajo (extracción de enzimas del abomaso) es el coagulante usado tradicionalmente y sirve como referencia a otros preparados.

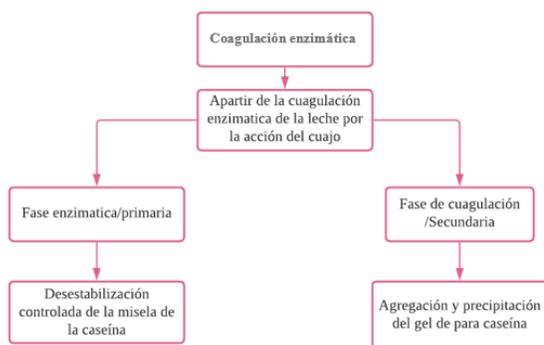
La reacción hidrolítica por vía enzimática empleando quimosina sucede a nivel de dos aminoácidos de la  $\kappa$ -caseína, la fenilalanina y la metionina, entre la cadena polipeptídica de la  $\kappa$ -caseína estos dos aminoácidos se encuentran en las posiciones 105 y 106 respectivamente, donde específicamente la quimosina presente en el cuajo rompe el enlace 105-106, en otras palabras,

genera hidrólisis entre el enlace peptídico de la fenilalanina y la metionina (Figura 2). Este proceso genera el llamado macro péptido conformado por los aminoácidos en las posiciones 106 a la 169 de la cadena de K-caseína original. Este macro péptido es soluble y se encuentra disperso en el suero. La porción más grande es denominada paracaseína  $\kappa$ , es insoluble y conforma la llamada cuajada (Tunick, 2014).

El proceso de coagulación sucede en dos fases (Figura 3) está condicionado por el tiempo, el pH y la temperatura, siendo estos algunos de los factores que modulan la actividad enzimática. Los eventos hidrolíticos suceden a temperaturas mayores a  $65^{\circ}\text{C}$  (Tunick, 2014) y a un pH cerca de 6.5

### Figura 3

*Fases del proceso bioquímico de la coagulación enzimática de la leche para la obtención de lactosuero.*



*Nota.* Presenta diagrama de Fases del proceso bioquímico de la coagulación enzimática de la leche para la obtención de lactosuero. Fuente: Elaboración propia.

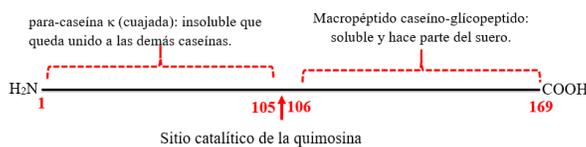
#### ***Fase enzimática Primaria***

En esta fase el cuajo provoca una proteólisis parcial limitada (rompimiento) de la  $\kappa$ -caseína exclusivamente en el enlace peptídico 105-106 entre la Fenilalanina y la Metionina (Figura 4); es un proceso irreversible en el que se separan dos porciones desiguales; La

paracaseína  $\kappa$  correspondiente a la secuencia 1-105 y el caseíno-glícopéptido terminal secuencia 106-169. La  $\kappa$ -caseína desintegrada en presencia del calcio pierde sus propiedades estabilizantes sobre las  $\alpha_s1$  caseína y la  $\beta$ -caseína, de esta manera ocurre la desestabilización enzimática de la micela.

#### Figura 4

##### *Hidrólisis específica del enlace Fen105-Met106 de la $\kappa$ -caseína*



*Nota.* Presenta la hidrólisis específica tomada de (Cheftel et al., 1989, p.205).

#### *Fase de coagulación secundaria*

En esta fase la caseína reacciona con el calcio iónico formando puentes salinos a temperaturas favorables donde se agregan en flóculos y después en fibras que constituyen finalmente una red tridimensional de estructura elaborada progresivamente que retiene el suero y los glóbulos de la grasa hasta precipitar. La coagulación enzimática esta condiciona por los factores que se presentan en la tabla 2 y que influyen de manera directa.

El calcio es el principal agente que induce los enlaces cruzados y la agregación de las micelas de paracaseína  $\kappa$ ,  $\alpha_s1$ ,  $\alpha_s2$  y  $\beta$ -caseína hacia la formación del gel en reposo (cuajada). El calcio iónico soluble se encuentra en equilibrio con el calcio insoluble de caseína. En ausencia del calcio iónico no se produce la agregación ni la coagulación de la  $\kappa$ -caseína.

## Coagulación acida

La acidificación de la leche causa la desestabilización de las micelas por la disminución en las cargas eléctricas de los grupos ácidos de estas moléculas, esto reduce el potencial de carga superficial de hidratación y aumenta la solubilización de las sales hacia la fase acuosa; en otras palabras, los iones de calcio adheridos a las caseínas  $\alpha_s1$ ,  $\alpha_s2$  y  $\beta$ -caseína se solubilizan junto a los iones de fósforo, generando así que estos minerales se solubilizan hacia la fase acuosa (lactosuero). La adición de ácidos orgánicos provoca el descenso del pH hasta obtener el punto isoeléctrico (4.6) de las caseínas, generando así una red proteica insoluble predominando las uniones intermoleculares de tipo electrostático e hidrófobo. Este proceso depende del pH, la temperatura y del contenido de calcio (García et al., 2004, p. 182).

### Tabla 2

*Factores que influyen sobre la coagulación enzimática.*

Factor	Especificación
Concentración enzimática	15-40ml con fuerza 1/10000 por 100L de leche
Temperatura	10-20°C
pH	6,4-6,6, óptimo 5.5 en la fase secundaria.
Concentración de calcio disuelto o del fosfato de calcio coloidal	-Calcio en forma de cloruro intensifica las reacciones enzimáticas de agregación disminuyendo tiempo de coagulación. -Velocidad de agregación aumenta con la concentración de los iones de calcio con mayor intensidad a temperaturas bajas
Dimensiones de micelas	≠ según tamaño de partícula

*Nota.* Presenta Factores que influyen sobre la coagulación enzimática describiendo cada factor y especificación que influyen en esta. Elaboración propia a partir de los resultados de la revisión bibliográfica.

Según la revisión bibliográfica, varios autores indican que la coagulación ácida es un proceso reversible, esto sucede al aumentar nuevamente el pH con la adición de grupos

hidroxilos (OH); esto provoca que el coagulo de caseína se disuelva, se neutralice las caseínas y se recupere las cargas negativas de las mismas. En la tabla 3 se mencionan algunas características de este mecanismo.

**Tabla 3**

*Características de la formación de la coagulación ácida de la leche.*

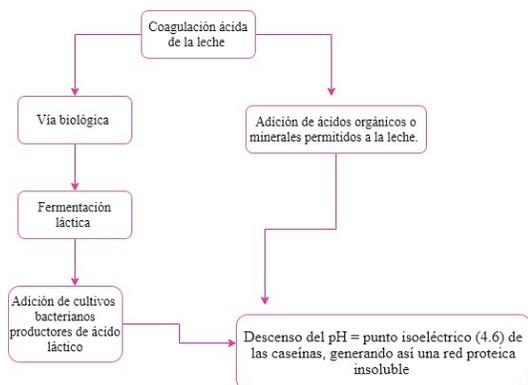
<b>Factor</b>	<b>Especificación</b>
Temperatura	20°C
pH	4.6
Condiciones de acidificación	Fuerte acidificación por la adición de ácidos con agitación se forma un precipitado separado del suero.  Si se acidifica progresivamente se forma un gel homogéneo que ocupa íntegramente todo el volumen.
Características de Gel láctico	Débil, frágil friable, permeable muy poco contráctil y elástico si es así puede desuerarse espontáneamente con una expulsión de suero limitada que no admite trabajo mecánico, no separación intensa.

*Nota.* Presenta las características de formación de la coagulación ácida de la leche teniendo en cuenta factores como temperatura, condiciones de acidificación y características del gel láctico. Elaboración propia a partir de los resultados de la revisión bibliográfica.

Se identifica que la coagulación ácida de la leche puede generarse de dos formas, tal como se describe en la figura 5. El mecanismo intrínseco es el mismo para ambos mecanismos, el medio ácido aporta iones de hidrógeno ( $H^+$ ) que al ser liberados progresivamente neutralizan las micelas de caseína por intercambio iónico disminuyendo así la repulsión electrostática y agregación de micelas.

**Figura 5**

*Descripción de la coagulación ácida de la leche.*



*Nota.* Presenta diagrama de descripción de coagulación ácida de la leche. Fuente elaboración propia a partir de los resultados de la revisión bibliográfica.

La fermentación láctica ocurre cuando se inocula la leche en un cultivo láctico a temperatura conveniente (20-30°C), se produce ácido láctico disminuyendo el pH entre 4.6 -5.0, precipitando así la caseína y formando un gel en estado de reposo. Según la literatura este no es un proceso enzimático sino físico dado que disminuyen las repulsiones intermoleculares de las caseínas en su punto isoeléctrico promedio (4.6) generando la debida precipitación de la fase acuosa, así se obtiene el lactosuero.

### Composición Química del Lactosuero

Esta suele variar según tipo de leche y tipo de proceso mediante el cual se obtuvo el lactosuero. En la tabla 4 se muestra la composición general aproximada del lactosuero.

**Tabla 4**

*Composición general aproximada del lactosuero.*

Constituyente	Porcentaje %
Solidos Totales	6,4 <sup>(1)</sup>
Agua	93,6
Grasa	0,05
Proteína	0,55
NNP (Nitrógeno no proteico)	0,18

Lactosa	4,8
Sales Minerales (Cenizas)	0,5
Calcio	0,043
Fosforo	0,04
Sodio	0,05
Potasio	0,16
Cloruro	0,11
Ácido Láctico	0,05

*Nota.* Presenta composición general aproximada del lactosuero recopilada de diferentes fuentes obtenidas de la revisión bibliográfica. Fuente: Dianela, 2015; Costa et al., 2018; Talebi et al., 2019; Zotta et al., 2020; Rocha et al., 2021.

En la tabla 5 expone la composición química comparativa para dos tipos de lactosuero, dulce y ácido presentando los mismos ítems para cada uno.

**Tabla 5**

*Composición química comparativa lactosuero dulce y ácido*

Ítem	Lactosuero Dulce	Lactosuero Acido
Agua	93	93
Proteínas	0,8%	0,6%
Grasas	0,3%	0,2%
Sólidos	6,3% – 7,0%	6,3% – 7,0%
Totales		
Calcio	0,04%	0,12%
Ceniza	0,56%	0,46%
Lactosa	4,5% -5,3%	3,8% -5,2%
Ácido láctico	0,2-0,3%	0,7-0,8%
Valor de pH	6-7	4-5

*Nota.* Expone la composición química comparativa del lactosuero dulce y ácido representando los mismos ítems para este coproducto. Elaboración propia a partir de diferentes fuentes expuestas en la presente revisión bibliográfica. Fuente: Ramiro et al., 2017; Guerrero et al., 2010; Parra Huertas, 2009; Castells et al., 2017.

Entre los nutrientes más abundantes se encuentra la lactosa con un 4,5%-5,3% proteínas solubles de un 0,6 a 0,8% lípidos de 0,4 a 0,5% y sales minerales de un 8-10%, estos últimos

incluyen NaCl y KCl (más del 50%), sales de calcio (principalmente fosfatos) y otros. (Zotta et al., 2020).

## **Descripción de los principales constituyentes del lactosuero**

### ***Proteínas***

En el contexto tecnológico las proteínas son las fracciones más importantes del lactosuero, incluyen la  $\beta$ -lactoglobulina (40 a 50% ),  $\alpha$ -lactoalbúmina (12-15%), inmunoglobulinas (8%) albumina de suero de bovino (5%) lactoferrina (1%) , lacto peroxidasa (0,5%), fracción de proteasa peptona (12%) y el glicomacropéptido (12%) (Maciel et al., 2020; Urtasun et al., 2021). El uso de las proteínas del suero incluye diversas aplicaciones en diferentes derivados de la industria de alimentos como formulas infantiles, bebidas fermentadas confitería y otras. Las más sobresalientes en la industria alimentaria son la  $\beta$ -Lactoglobulina y la  $\alpha$ -lactoalbúmina por su capacidad de actuar como emulsificantes y espumantes. A continuación, se hace una breve revisión de las principales proteínas del lactosuero.

### ***$\alpha$ -lactoalbúmina***

Esta comprende alrededor del 13 a 19% del total de proteínas del suero ácido. Está formada por aminoácidos esenciales los cuales incluyen lisina, triptófano, leucina y aminoácidos azufrados (cisteína y metionina). Se han encontrado investigaciones las cuales dan a conocer que esta proteína puede unirse con el ácido oleico formando un complejo llamado BAMLET y en el caso de la proteína humana HAMLET los cuales tienen propiedades anticancerígenas Rammer et.. al., (2010). Además de estos beneficios se considera que es excelente para formulas infantiles, mejora respuesta inmunitaria, promueve la salud intestinal y aumenta la absorción de

nutrientes como el zinc y el hierro. En los adultos contribuye con la producción de péptidos bioactivos con propiedades antibacterianas y prebióticas (Rocha et. al., 2021).

### *Lactoferrina (Lf)*

Es una proteína globular la cual representa entre el 1 y 2% de las proteínas ácidas del suero siendo una de las proteínas lácteas más importantes por su alta actividad multifuncional. Para Matijašić et. al., (2020) la lactoferrina es definida como una lipoproteína grande de 80kDa la cual está presente en el suero. La Lf puede responder a varios cambios fisiológicos y ambientales, por lo tanto, representa una figura clave dadas sus características estructurales, permitiendo diferentes efectos en el cuerpo como: (i) Regula el transporte de  $Fe^{3+}$  que es común a todas las transferrinas; (ii) alta actividad microbiana contra un alto espectro de bacterias, hongos, levaduras, virus y parásitos; (iii) protección contra enfermedades antiinflamatorias, trastornos metabólicos entre otras. Diferentes estudios plantean los efectos beneficiosos que aborda la Lf en la salud humana promoviendo una absorción de nutrientes eficaz el organismo, evaluando la utilización de esta proteína en formulas infantiles.

Matijašić et. al., (2020) expone que el aislamiento de Lf del suero a escala industrial es un reto debido a su pequeña proporción en este medio. Actualmente se utilizan varios enfoques tecnológicos para el aislamiento de individuos de proteínas del suero y su transformación: (i) partículas paramagnéticas unidas a ligandos de heparina, (ii) tensioactivos catiónicos, (iii) diferentes técnicas cromatográficas (intercambio catiónico o cromatografía de afinidad) y (iv) otras técnicas como hidrofóbicas extracciones de líquidos iónicos.

### ***$\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -Lg)***

La ( $\beta$ -Lg) es definida por Mazorra y Moreno, (2019) como la proteína globular mayoritaria en el lactosuero, además de exhibir excelentes propiedades emulsificantes y gelificantes, se caracteriza por ser un ingrediente altamente versátil para la formulación de alimentos. La ( $\beta$ -Lg) representa el 50% de la proteína del suero, lo que la hace generosamente útil en la industria de procesamiento alimentos, además de sus propiedades funcionales y valor nutritivo. (Meng, et. al., 2021)

### ***Lípidos***

Rocha et. al., 2021 describe que el suero contiene hasta un 0.39% de lípidos y un 0.1% de Fosfolípidos de la leche MPL, representando el contenido lipídico más notable en el suero. Esta fracción lipídica concentrada de suero tiene potencial para convertirse en ingredientes valorizados que contienen MPL. El uso del suero en especial del suero ácido como fuente de MPL tiene varias ventajas. Al carecer de caseína el suero ácido este puede facilitar la purificación de Fosfolípidos.

### ***Lactosa***

La lactosa representa 45-50 g/l en el lactosuero, es el carbohidrato más abundante que se encuentra en la leche (4,4-5,2%) y componente principal del lactosuero entre 46g/L a 65g/L (Mazorra y Moreno, 2019). La lactosa es el componente energético en el lactosuero junto a sus derivados como la lactulosa, poseen propiedades prebióticas que favorecen el crecimiento selectivo de microorganismos benéficos para la salud humana especialmente bifidobacterias y lactobacilos (Wong et al., 1978).

### ***Minerales***

El suero contiene minerales como calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (k), cationes y fosfato, citrato y cloruro como aniones (Nishanthi et al., 2017). La composición mineral entre suero ácido y dulce se diferencia como se puede apreciar en la tabla 6. La literatura describe que los porcentajes en promedio en peso de calcio y Fosforo en el suero ácido base seca se informan como 1,12% y 1,78% respectivamente. (Rocha Mendoza et al., 2021)

**Tabla 6**

*Composición de minerales del suero*

Componente	Suero Dulce	Suero salado	Suero nativo	Suero ácido
K	0,25±0,004	0,13±0,001	0,046±0,005	0,133±0,007
Mg	0,017±0,001	0,016±0,0001	0,015±0,001	0,017±0,001
Citrato	0,064±0,003	0,072±0,008	0,062±0,006	0,071±0,005
Fosfato inorgánico	0,057±0,01	0,1±0,0	0,12±0,0	0,1±0,01
Fosfato total	0,068±0,02	0,088±0,02	0,118±0,01	0,183±0,01

*Nota.* Muestra la composición de algunos minerales presentados en el lactosuero dulce salado, nativo y ácido, los valores medias ± desviación estándar ( $n \geq 4$ ); todos los valores son porcentajes tomada de (Nishanthi et al., 2017)

**Vitaminas**

Las vitaminas del lactosuero son esenciales en la ingesta diaria como fuente esencial para el funcionamiento del organismo, contiene tiamina, riboflavina, ácido nicotínico, ácido pantoténico, piridoxina, cobalamina y ácido ascórbico (Adolfo y Huertas, 2009). En la tabla 7 se registra la concentración de las vitaminas del lactosuero (mg/ml).

**Tabla 7**

*Contenido de vitaminas del lactosuero*

Vitamina	Concentración (mg/ml)
Tiamina	0,38

Riboflavina	1,2
Acido nicotínico	0,85
Acido pantoténico	3,4
Piridoxina	0,42
Cobalamina	0,03
Acido ascórbico	2,2

---

*Nota.* Presenta el contenido de vitaminas esenciales que contiene el lactosuero, tomada de (Adolfo & Huertas, 2009)

## **Tipos de Suero**

Resultantes de la producción de quesos se encuentran tres tipos de sueros, el suero salado, ácido y dulce. Los más referenciados en la literatura son el suero ácido y dulce. En la presente investigación también se define el suero salado.

### ***Suero Salado***

Este tipo de suero se obtiene cuando la sal se dispersa en la cuajada de queso durante el proceso de secado con el fin de reducir la actividad de agua en la producción de queso duro y semi duro, como por ejemplo el queso cheddar y colby Chen et. al., (2021). El exceso de humedad que contiene gran cantidad de sal añadida, se expulsa durante el proceso de prensado formando una corriente de salmuera denominada suero salado.(Chen et, al., 2020) .

El suero salado no es muy común para el uso de nuevos productos en la industria alimentaria dado su alto contenido de sal principalmente de NaCl, el cual varía aproximadamente 0,7 a 1,7-mol/L 4 a 10% Blaschek et. al., (2007). Debido a su elevado contenido de sal son muchas las preocupaciones ambientales que generan estas salmueras. El desecho de este suero está sujeto a una reglamentación más estricta debido al contenido residual de sodio que puede estar presente en cuerpos de agua empelados para la agricultura, así como la degradación local de la tierra causada por la lixiviación de sodio. Por tal motivo, la utilización y

el tratamiento del suero salado se ha convertido en un foco importante en la agenda de sostenibilidad de la industria láctea. Estudios realizados en Australia demostraron que a pesar de realizar un tratamiento de nanofiltración, electrodiálisis e intercambios iónicos al ser desechado el suero salado siguen generándose impactos ambientales como degradación de la tierra y mal olor (Chen et. al., 2018).

Actualmente se están desarrollando investigaciones que guíen a la industria láctea por un camino de sostenibilidad, que permitan la utilización de nuevas tecnologías para promover el uso del lactosuero salado para la obtención de productos químicos de limpieza mediante la electrodiálisis con membranas bipolares, la investigación busca también encontrar la concentración máxima de ácido y base en función de determinar el rendimiento que se puede obtener de corrientes de desechos salinos, para esto se tuvo en cuenta los datos presentados en la tabla 8. (Chen et. al., 2020).

**Tabla 8**

*Concentración del suero Salado*

<b>Componente g/L</b>	<b>Suero Salado</b>
Sodio	51,9±2,6
Potasio	2,1±2,2
Calcio	1,5±0,03
Fósforo	0,7±0,1
Magnesio	0,2±0,01
pH	5,1±0,4

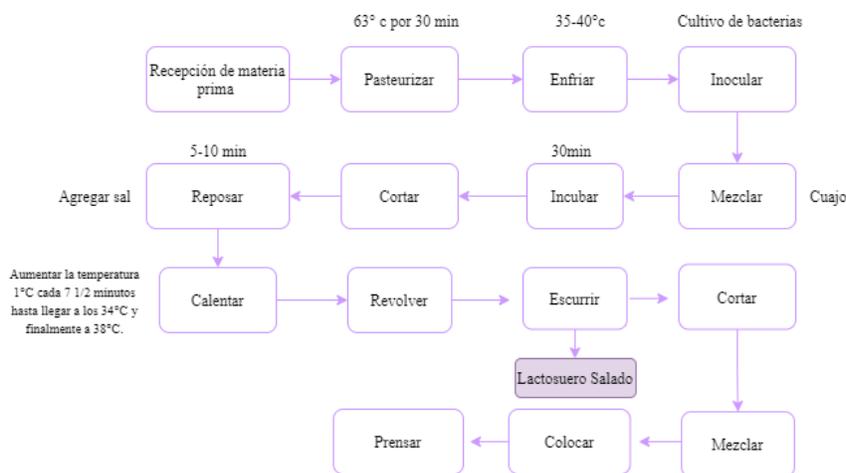
*Nota.* Presenta los componentes de concentración del suero salado Fuente (Chen et. al., 2020)

El proceso de obtención del suero salado es similar a la obtención de suero dulce y ácido, su variación se encuentra en el proceso de elaboración del queso, que para la obtención de este se hace por medio de la elaboración de queso cheddar en la etapa del proseo de reposo donde se le

agrega sal al producto y en la etapa de escurrir se obtiene el suero salado como se puede observar en la figura 6.

### Figura 6

*Diagrama de obtención del lactosuero salado.*



*Nota.* Diagrama de elaboración de queso cheddar para la obtención de suero salado. Fuente elaboración propia basada en la revisión bibliográfica.

La tabla 9 permite observar los productos y usos que se han podido desarrollar a través del suero salado marcando un valor agregado.

### Tabla 9

*Productos y usos estudiados del lactosuero salado.*

Producto	Uso	Importancia	Referencia
Productos químicos de limpieza mediante electrodiálisis con membranas bipolares	Productos químicos de limpieza en planta generadora de Suero salado	-Huella Ambiental -Beneficios tecnología dado que la industria consume alto volumen de limpieza	(X. Chen et. al., 2020)
Utilización de permeado de ultrafiltración de suero salado con	Aplicación del permeado de suero salado que podrían dar valor agregado al	-Valor agregado a los productos lácteos -Disminuir costos en la	(Talebi, Kee, et. al., 2019)

electrodiálisis

procesamiento de  
productos lácteos.

planta procesadora.

*Nota.* Muestra investigaciones de productos y usos estudiados del lactosuero salado. Fuente elaboración propia a partir de datos de la investigación.

## Suero Ácido

Es el subproducto de la coagulación acida. Su proceso involucra la actividad de microorganismos como los lactobacilos a través de la fermentación o la adición de ácidos orgánicos como el ácido cítrico, acético o láctico. Es un subproducto de la elaboración de quesos coagulados como el ricota Rocha Mendoza et. al., (2021). El pH puede variar según del proceso de elaboración del que provengan, se encuentra en un rango 4.3 a 4.6 Rocha Mendoza et. al.,(2021) o entre 4.6 a 4.7 Merkel et. al., (2021). Este tiene una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que varía de 52.400 a 62.400 mg/L proveniente de la elaboración del yogurt griego y de 31.400 a 40.000 mg/L derivado del proceso del requesón, lo que obstaculiza su eliminación a través del medio ambiente y hace de esto un reto para la industria, para su aprovechamiento y valorización. En la figura 7 se presenta el diagrama de obtención del suero acido.

### Figura 7

*Diagrama de obtención del lactosuero acido*



*Nota.* Ilustra diagrama de obtención de lactosuero acido. Fuente Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica.

Rocha Mendoza et. al., 2021 describe el suero ácido como una valiosa corriente láctea con proteínas y péptidos funcionales, lactosa, lípidos, vitaminas y minerales; donde su composición depende de varios factores como la fuente de la leche, el tipo de yogurt griego o queso procesado, tratamiento térmico y almacenamiento. En general el suero del yogurt griego tiene un contenido más bajo de cenizas, sólidos totales, lactosa y ácido láctico en comparación con el requesón, pero tiene una acidez más alta. El requesón cuenta con un valor más alto de proteínas, los lípidos son generalmente los mismos para el suero ácido resultante de estos dos productos. En la Tabla 10 se presenta una composición aproximada del suero ácido.

**Tabla 10**

*Componentes del suero ácido producto de la elaboración de productos*

Componente	Fuente de Suero ácido		
	Caseína Ácida	Yogurt griego	Requesón
pH	4,3-4,6	4,21-4,28%	4.35-4.11
Acidez	NR	0,42-0,53%	0,28%-0,31%
Lípido	0,04%	0-0,1%	0,01%
Proteína0061	0,55%	1,7%-3,71 (mg/g)	1,65-5,05 (mg/g)
Ceniza	0,80%	0,64-0,75% (peso/peso)	0,33-0,42 (peso/peso)
Contenido de agua	93,5%	93,8-94% (peso/peso)	96,3-96,7% (peso/peso)
Sólidos totales	6,50%	6-6,2%(peso/peso)	3,3%-3,7% (peso/peso)
Lactosa	4,90%	3,33—3,5%	1,99%-2,13%
Ácido láctico	0,4%	0,64-0,65%	0,37%
Calcio	0,12%	120-128 (mg/100g)	68,3-70,7% (mg/100g)
Fosforo	0,07%	66,5 a 69,2 (mg /100g)	46,3-48,9% (mg/100g)
Sodio	0,05%	37,6-41,9(mg/100g)	21,6-23,1 (mg/100g)
Potasio	0,016%	156-169 (mg/100g)	90,8-95,2 (mg/100g)
Cloruro	0,11%	0,078-0,11 (mg/100g)	≤0,06 (mg/100g)

---

Siendo:

Nr No informado en la literatura original

---

*Nota.* Ilustra componentes del suero ácido producto de la elaboración de productos como caseína ácida, yogurt griego y requesón Fuente .(Rocha Mendoza et al., 2021).

La forma de procesar el suero ácido para su aprovechamiento es aplicarle tratamientos de secado, esto asegura un aumento de la vida útil, pero este proceso se hace difícil con el suero ácido dado al pH, al contenido de lactosa, ácido láctico y contenido de minerales, especialmente de calcio, que propician polvos con una alta capacidad de agregación y capacidad higroscópica por ende mayor contenido de humedad, condicionando las operaciones de secado y la estabilidad de la vida útil Kravtsov et. al., (2020); Merkel et. al., (2018); Rocha Mendoza et. al., (2021)

Varias son las técnicas combinadas que se han usado como pretratamientos al secado para evitar estos inconvenientes, por ejemplo, aplicar técnicas de desalinización y filtración de membranas: nanofiltración, ultrafiltración, di nanofiltración, intercambio iónico, la electrodiálisis y sus combinaciones. Estos procesos han permitido ampliar el panorama de las investigaciones para generar mayores usos del lactosuero ácido y sus componentes.

Rocha Mendoza et. al., (2021) establece que debido a la creciente producción de quesos se ha aumentado el volumen de suero ácido. Son numerosas las investigaciones a nivel mundial que se hacen sobre su uso para para generar acciones de sostenibilidad, lo que ha permitido dar origen al aprovechamiento de este subproducto en las empresas, ejemplo son los trabajos relacionados con la utilización de bio gestores, pero también se analizan propiedades y beneficios sobre la salud e igualmente la creación de nuevos usos para consumo humano como bebidas fermentadas, como sustrato para el cultivo de microorganismos, producción de

biocombustibles, obtención de lactosa y minerales. En la tabla 11 se hace una recopilación general de algunas de las investigaciones más recientes.

**Tabla 11**

*Investigaciones de productos y usos del lactosuero ácido.*

<b>Producto / investigación</b>	<b>Uso /objetivo</b>	<b>Importancia</b>	<b>Referencia</b>
Uso del suero para cultivo de microorganismos industrialmente potenciales	Cultivo de microorganismos	-Reduce la demanda Tecnología de oxígeno del Suero ácido en un 90 y 95%. -Produce bio ingredientes de valor agregado para las industrias Lácteas	(Rocha Mendoza et al., 2021)
Uso del lactosuero ácido como sustrato para el crecimiento de microorganismos productores de bebidas lácteas fermentadas	Se destacan características relevantes del género <i>Brettanomyces Claussenni</i> .	Producción de nuevas bebidas fermentadas a partir de sustratos no tradicionales como los subproductos agrícolas.	(Lawton et al., 2021)
Elaboración de bebidas lácteas fermentadas	Evaluar características de las bebidas fermentadas elaboradas con suero ácido	Potenciar el uso del suero ácido para producir productos probióticos funcionales	(Skryplonek et al., 2019)
Elaboración de bebidas lácteas probióticas	Formular una bebida probiótica funcional a partir de suero y jugo de piña.	Contribuir con diferentes beneficios para la salud del consumidor a través de una población probiótica.	(Islam et al., 2021)

<b>Producto / investigación</b>	<b>Uso /objetivo</b>	<b>Importancia</b>	<b>Referencia</b>
Biocombustibles	Uso de la lactosa como sustrato para producir compuestos valiosos a través de la fermentación como etanol, ácidos orgánicos, biogás (metano), hidrogeno, aminoácidos y vitaminas	-Impacto Económico para las industrias lácteas siendo reutilizado en estas plantas productoras	(Ingredientes de Arla Foods., 2021)
Bioetanol y ácido galactónico	Impulsar una gran explotación de la lactosa de suero como materia prima de fermentación	Mejorar rendimientos económicos y facilitar el proceso de fermentación	(Zhou et. al., 2019)
Producción de bebidas alcohólicas	Producción de cervezas agrias	Por medio del lactosuero acido da valor agregado a la producción de bebidas alcohólicas	(Sebastián Y Solis, 2020)
Producción de bebidas alcohólicas	Determinar un destilado a partir del suero ácido	Promover el desarrollo de productos apetitosos y consientes con el planeta	(Zhou et. al., 2019)
Síntesis de bioproductos a partir de <i>Yarrowia lipolydica</i> y Suero acido	Aprovechamiento del lactosuero acido como potencial sustrato para algunos microorganismos	Convertir suero acido en productos con valor agregado por medio de la utilización de la <i>Yarrowia lipolydica</i>	(Mano et. al., 2020)
Producción de lipasas	Aumento de la actividad enzimática, mejorando condiciones del cultivo al usar el suero como sustrato.	Aprovechamiento del lactosuero como sustrato económico para la producción de lipasa	(Knob et. al., 2020)
Producción de lactulosa	Generar enzima de lactulosa a través de la optimización del compuesto utilizado	Valorización del lactosuero mediante la generación de lactulosa prebiótica.	(Schmidt, Nedele, et. al., 2020)

Producto / investigación	Uso /objetivo	Importancia	Referencia
Producción de $\beta$ -galactosidasa	[Integrar AWP por primera vez en el medio de crecimiento de la microalga <i>Tetrademus obliquus</i>	Producción de biomasa de microalgas y enzimas <i>B-galactosidasa</i> como producto de valor agregado.	(Bentahar et. al., 2019)
Producción potencial de microbiomas y polihidroxicarbohidratos	Cogestión entre el suero de queso y lodos depuradores en un reactor continuo.	Evaluar la eficiencia de la producción de ácido caproico y otros ácidos grasos volátiles.	(Iglesias-Iglesias et. al., 2021)
Elaboración de productos cárnicos.	Producción de salchichas fermentadas. Provocar una menor formación de aminas biogénicas por medio del suero ácido liofilizado	Suero liofilizado como alternativa de nitrato/ nitrito en embutidos fermentados elaborados con carne de gamo	(Kononiuk Y Karwowska, 2020a)
Síntesis de galactooligosacáridos	Utilización de suero ácido provenientes de suero de caseína, yogurt griego, permeado de suero ácido.	Potencial de la <i>B-galactosidasa</i> de <i>C. laurentii</i> en el suero ácido	(Fischer Y Kleinschmidt, 2021a)
Síntesis de galactooligosacáridos	Producción de galactooligosacáridos a partir de suero ácido	Valorizar el suero ácido por medio de una <i>B-galactosidasa</i> de <i>thermothelaviodes terrestres</i>	(Zerva et. al., 2021)
Encapsulación de aceites.	Encapsulación eficiente de aceite de pescado	Aprovechamiento de las características inherentes únicas de la crema de suero y la proteína de suero hidrolizada	(Hinnenkamp et. al., 2021)
Encapsulación de aceites.	Material de pared para el sacado de aspersión de romero	Solución creativa para ofrecer fitoquímicos conservados en un formato de alimento rico en proteínas	(Grace et. al., 2021a)
Producción de péptidos bioactivos	Bioactividad de hidrolizados de suero de queso	Potencial en nuevos ingredientes y productos	(Bustamante et. al., 2021)

Producto / investigación	Uso /objetivo	Importancia	Referencia
		alimenticios	
Producción de ácido polimálico por vía microbiana	Conversión directa de suero de queso a ácido polimálico	Aprovechamiento de la lactosa de suero hidrolizada como sustrato de fermentación para la producción de ácido polimálico	(Xia et. al., 2021)

*Nota.* Ilustra las investigaciones desarrolladas a partir del uso del suero acido. Elaboración propia a partir de datos de las investigaciones.

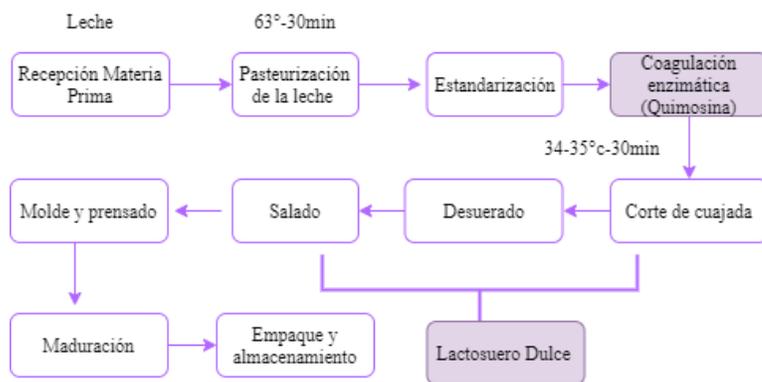
### Suero Dulce

El suero dulce es el subproducto de la mayoría de los quesos, los cuales típicamente poseen un pH de alrededor de 6.0 a 7.0, menor contenido de cenizas y proteínas a diferencia del suero acido. Este es obtenido después de la coagulación de la caseína durante la producción de queso duro (madurado) a través de cuajo Rocha Mendoza et. al., (2021). En la Figura 8 se puede observar el diagrama de obtención de suero dulce por medio de coagulación enzimática.

Teniendo en cuenta la resolución 2997 de 2007 colombiana la cual establece la disposición del reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los lactosueros en polvo como materia prima para consumo humano, se puede verificar la definición para lactosuero liquido dulce la cual indica que *“este es el producto lácteo liquido separado de la cuajada tras la coagulación enzimática de la leche, crema, leche desnatada o descremada obtenido del proceso de elaboración de quesos”*. En la tabla 12 se puede observar la composición detallada de los nutrientes que tiene el lactosuero dulce.

**Figura 8**

Diagrama de obtención del suero dulce por medio de coagulación enzimática usando la quimosina.



Nota. Ilustra el diagrama de obtención del suero dulce por medio de coagulación enzimática usando quimosina. Elaboración propia basada en revisión bibliográfica

El suero dulce es más fácil de utilizar para la creación de nuevos productos gracias a sus componentes los cuales son mencionados en la tabla 12. La industria se ha centrado en utilizarlo en la creación de nuevos productos para consumo humano como formulas infantiles, bebidas energéticas, proteínas para deportistas Schmidt et. al., (2020), pero también para procesos biotecnológicos, como lo demuestran Sebastián Y Solis, (2020) que describen la producción de etanol por medio de *Kluyveromyces marxianus* por medio de la fermentación continua, el cual demostró que este microorganismo puede utilizar eficientemente lactosa para producir etanol, logrando un alto rendimiento.

**Tabla 12***Composición del suero dulce*

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

*Nota.* Señala los componentes que se encuentra dentro de la composición del suero dulce, fuente (Sebastián & Solís, 2020)

La fracción más comercial del suero dulce son las proteínas, para su obtención utilizan tecnologías que se mencionan a lo largo de este trabajo, las cuales condiciona la importancia y el beneficio nutricional que otorgan al producto final. En la tabla 13 se hace recopilación general de algunas de las investigaciones más recientes sobre el lactosuero dulce.

**Tabla 13***Investigaciones y usos de productos a partir del suero Dulce.*

Producto/ investigación	Uso	Importancia	Referencia
Obtención de películas para elaborar envases activos-productos cárnicos.	Envase activo para productos cárnicos	Aprovechamiento del suero dulce para elaborar empaques activos	(Ribeiro Sanches et. al., 2021)
Aplicación del suero dulce como sustrato para la producción de cultivos iniciadores y síntesis del yogur	Suero dulce como sustrato para la síntesis de galactooligosacáridos	Producciones sustentables para la industria láctea	(Fischer y Kleinschmidt, 2021b)

Producto/ investigación	Uso	Importancia	Referencia
Aplicación del suero dulce como sustrato para la síntesis de nanocompuestos.	Uso de <i>Lactobacillus paraca seis</i> aislado de suero para síntesis de nanocompuestos	Incluir el lactosuero como materia prima en la síntesis de nano partículas	(Viorica et. al., 2021)
Producción de bioetanol	Aislamiento de varias cepas de levadura <i>khyveromyces</i> del Suero dulce	Aprovechamiento de levaduras propias del Suero dulce para producir etanol	(Sebastián Y Solis, 2020)
Producción de Hidrógeno	Uso de modelos fermentativos para evaluar el sistema de producción de H <sub>2</sub>	Agregar valores significativos al suero dulce al convertirlo en una forma limpia de bioenergía	(Rao Y Basak, 2021)
Producción sostenible de polihidroxicanoatos vía microbiológica	Suero como materia prima para la producción de empaques de polihidroxicanoatos	Valorización del Suero dulce para la producción sostenible de polihidroxicanoatos a partir de <i>Bacillus megaterium</i>	(Israni et. al., 2020)
Producción de ácido succínico	Fermentación por lotes a partir de suero y lactosa encontrada en productos lácteos	Alternativa biotecnología verde para valorizar el lactosuero y la lactosa, reduciendo su impacto en el medio ambiente	(Louasté Y Eloutassi, 2020)
Producción de lactulosa	Generación enzimática de lactulosa en suero dulce y ácido	Valorización del suero dulce y ácido mediante la generación de lactulosa prebiótica	(Schmidt, Balinger, et. al., 2020)
Síntesis de galactooligosacáridos	Uso del lactosuero como sustrato para la síntesis de galactooligosacáridos	Valorización del lactosuero dulce como base potencial para bebidas funcionales a base de suero	(Fischer Y Kleinschmidt, 2021b)
Obtención de lactoperoxidasas y lactoferrina	Desarrollo de nueva matriz multimodal de colorante – quitosano para la purificación de lactoperoxidasas y lactoferrina	Purificación de lactoperoxidasas y lactoferrina del suero de leche	(Urtasun et. al., 2021)
Obtención de lactoferrina a partir de las proteínas del suero.	Purificación de lactoferrina y recuperación de aislado de proteína de suero utilizado miniesferas de	Purificación de proteínas del suero	(Hirsch et. al., 2020)

Producto/ investigación	Uso	Importancia	Referencia
	quitosano		
Obtención de fosfolípidos	Recuperar el 70% de fosfolípidos	Impacto técnico económico de la extracción de lípidos del suero	(Viswanathan et. al., 2021)
Elaboración de bebidas probióticas	Desarrollo de bebidas probióticas a base de suero	Valorización del suero en diferentes sectores industriales	(Kadyan et. al., 2021)
Aplicación de las proteínas como sustituto de grasa en yogur	Remplazantes de grasa en yogurt bajo en grasa	Aprovechamiento de propiedades gelificantes y emulsionantes del suero	(Li et. al., 2021)
Material de pared para la encapsulación de <i>Lactobacillus acidophilus</i>	Encapsulación y eficiencia en la producción de microcápsulas	Proteína de suero en procesos de encapsulación.	(Leylak et. al., 2021)
Obtención de péptidos bioactivos	Liberar bioactivos a partir de proteínas de suero	Desarrollar nuevos alimentos funcionales	(Worsztynowicz et. al., 2020)
Uso del lactosuero como cultivo iniciador de nuevas bacterias LAB	Utilizar el suero dulce como nueva fuente de bacterias del ácido láctico	Caracterizar su potencial para proporcionar diferentes sabores a las bebidas fermentadas	(de Sousa et. al., 2020)
Elaboración de emulsiones	Determinar la eficacia de la emulsificación del ácido oleico del Aceite de Palama	Mejorar el suministro de compuestos bioactivos	(Sandoval-Cuellar et. al., 2020)
Retención de aromas en productos lácteos (yogurt)	Empleo de aislados de proteína de suero en yogures sin grasa.	Mejorar características organolépticas del yogurt sin grasa	(Lesme et, al., 2020)

*Nota.* Presenta diferentes investigaciones donde se ha utilizado el lactosuero dulce para el aprovechamiento de sus componentes Elaboración propia a partir de los datos de las investigaciones.

## Tecnologías Para la Recuperación y Aprovechamiento del Lactosuero en el Escenario Internacional y Nacional

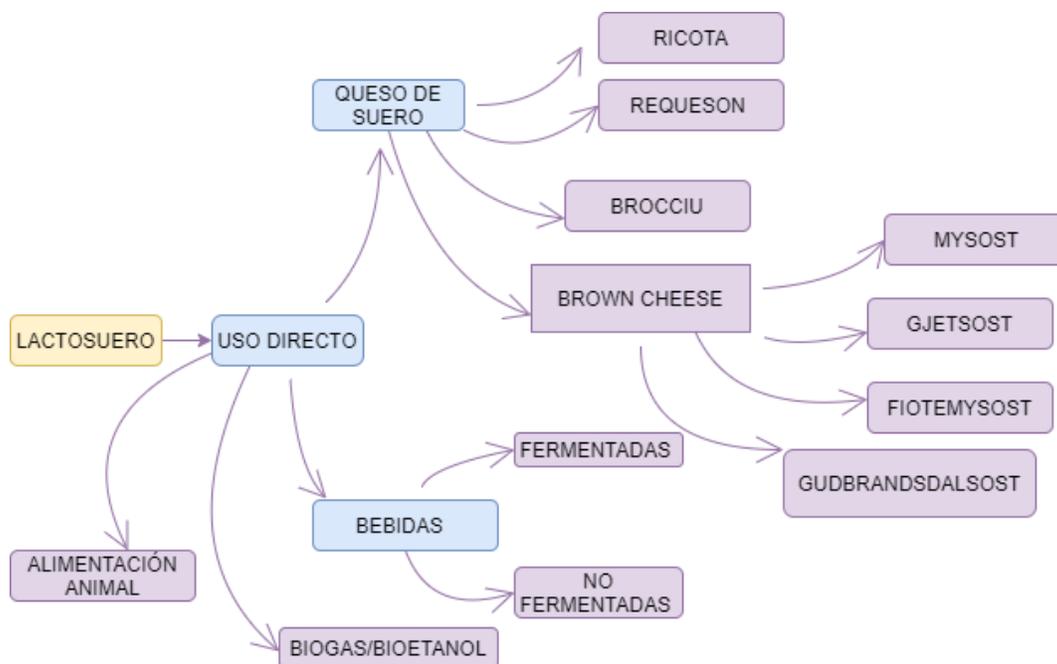
### Fraccionamiento de los componentes del lactosuero

Para Hernández Miranda et. al., 2020 el lactosuero es considerado un subproducto de la industria láctea y la aplicación de este se puede dividir en cuatro formas básicas, aplicación directa, separación y aplicación de los componentes del suero, uso en procesos biotecnológicos y proceso parcial con posterior uso.

Castells et. al., (2017) mencionan en su trabajo posibles usos directos del lactosuero los cuales se resumen en la figura 9.

### Figura 9

*Posibles usos directos del lactosuero*



*Nota.* Adaptado Valorización del lactosuero, posibles usos directos del lactosuero(Castells et. al., 2017)

El fraccionamiento del lactosuero se puede aprovechar para obtener lactosa, proteínas del suero, aminoácidos libres, vitaminas y minerales. Derivado de este aprovechamiento la industria de la biotecnología produce el alto contenido de lactosa para producir alcohol y ácido láctico; también es utilizado como medio de cultivo, fabricación de biocombustibles, productos químicos de limpieza y otros usos que se dan por medio de la aplicación de diferentes tecnologías utilizadas en el fraccionamiento del suero.

Al transcurrir el tiempo y por los diversos beneficios que generan los diferentes componentes del lactosuero se han desarrollado técnicas de precipitación, hidrolisis, alternativas de tratamientos anaerobias y aeróbicos, electrocoagulación, y técnicas de separación de membrana Bermúdez, (2019). La mayoría de las técnicas se generaron con el fin de establecer una mayor rentabilidad y aprovechamiento del lactosuero.

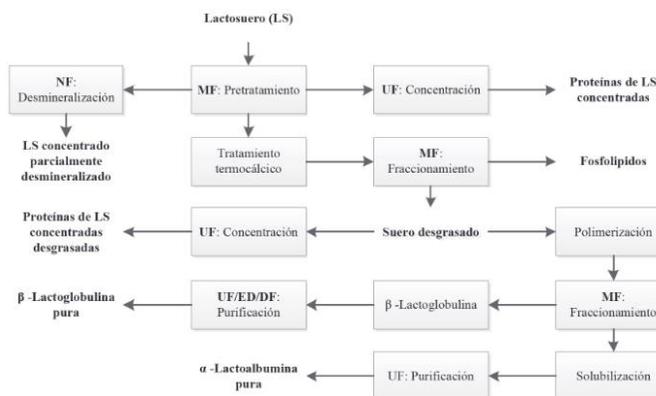
Dentro las técnicas de Fraccionamiento o separación se encuentran:

- Precipitación de proteínas por cambio del pH y tratamiento térmico
- Separación por intercambio iónico
- Concentrados obtenidos por membranas
- Membranas de ultrafiltración

De acuerdo con la complejidad de transformación del lactosuero, es necesario usar diferentes procesos de tecnologías de membranas para producir un producto en específico, como se observa en la figura 10. Un ejemplo es la producción de concentrado de proteína del suero con un 35-85% de proteína en el total de sólidos se logra mediante la combinación del proceso de ultrafiltración y diafiltración.

**Figura 10**

Diagrama de flujo para el fraccionamiento del lactosuero por medio de la tecnología de membranas.

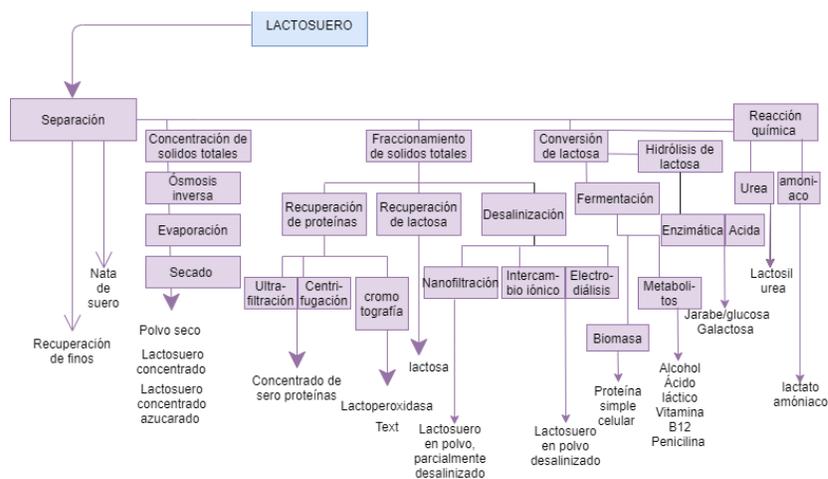


Nota. Ilustra un diagrama de flujo para el fraccionamiento del lactosuero por medio de la tecnología de membranas. (Ramírez Navas et. al., 2018)

Espinosa, et. al., (2020) en su estudio expone un resumen de diferentes alternativas para el tratamiento y valor agregado del lactosuero como también los productos finales obtenidos en cada proceso tecnológico representado en la Figura 11.

**Figura 11**

Diferentes alternativas aplicadas al procesamiento del lactosuero

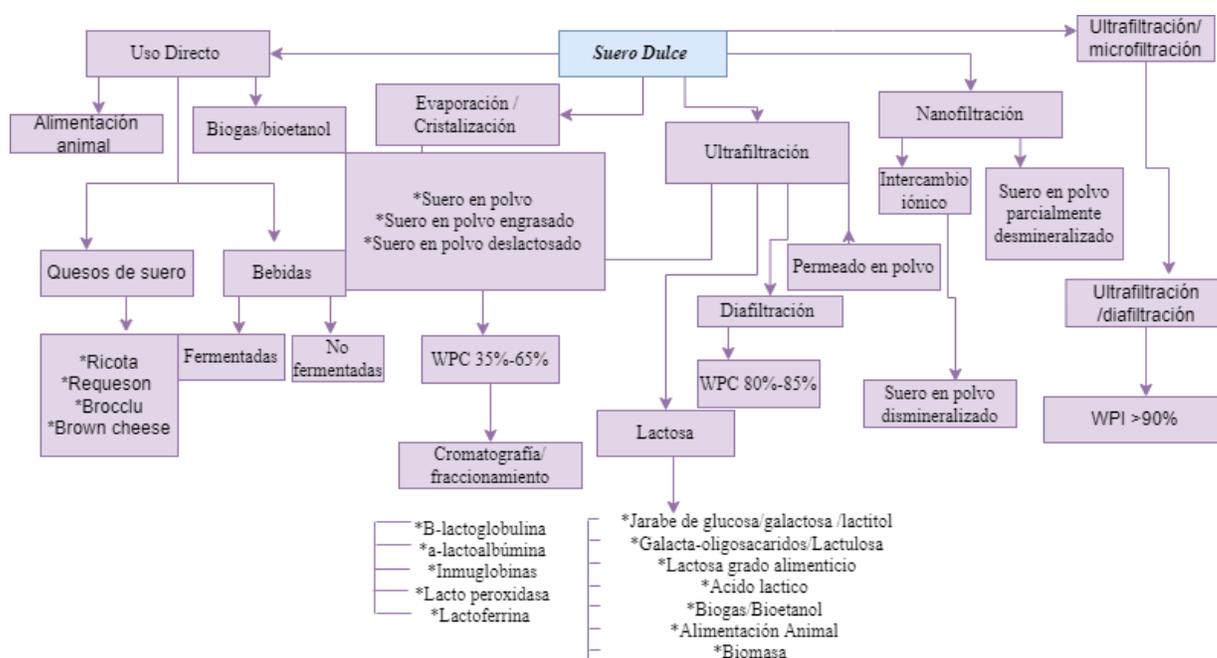


Nota. Diferentes alternativas aplicadas al procesamiento del lactosuero, agregados y productos obtenidos a través de procesos tecnológicos adaptada de (Espinosa et. al., 2020).

Existen varias opciones de tecnologías para la utilización del lactosuero por medio de su estabilización, fraccionamiento, transformación y recombinación. La figura 12 expone un diagrama global con la extensa gama de productos que pueden obtenerse directa o indirectamente en base del suero, de acuerdo con tecnologías aplicadas para su obtención.(Castells et. al., 2017)

**Figura 12**

*Tecnologías para la utilización del suero*



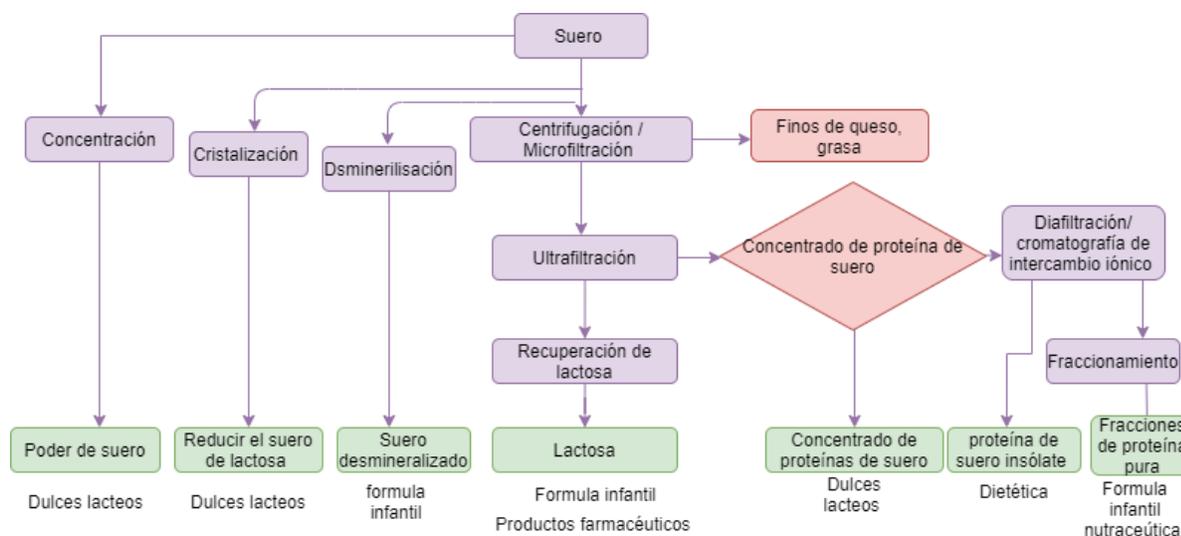
*Nota.* Valorización del lactosuero, ilustra diferentes tecnologías para la utilización del lactosuero tomada de (Castells et. al., 2017).

El aislamiento de los componentes del suero y la producción de ingredientes del suero en polvo han tenido éxito gracias al desarrollo de tecnologías de procesamiento, especialmente filtración por membranas, la precipitación selectiva en conjunto con la centrifugación y electrodiálisis. Procesos como ultrafiltración, purificación, desmineralización, diafiltración, nanofiltración y osmosis inversa. En la figura 13 se presenta un procedimiento del lactosuero

liquido donde son aplicadas las tecnologías ya mencionadas para la producción de ingredientes derivados del suero (Tsermoula et. al., 2021).

**Figura 13**

*Procesamiento del lactosuero liquido*



*Nota.* Procesamiento del lactosuero dulce para la producción de ingredientes de derivados lácteos adaptada de (Tsermoula et. al., 2021).

## Proteínas

A escala industrial el fraccionamiento del lactosuero ha permitido la obtención de concentrados con alto contenido proteico debido a sus propiedades funcionales para la sustitución de alimentos proteicos convencionales esto debido a su alto valor nutricional. Lo que ha generado que las industrias indaguen más sobre el fraccionamiento y enriquecimiento de las proteínas de suero.

La fracción proteica del suero dulce es probablemente la mejor caracterizada comparada con otros sistemas alimenticios, las proteínas de suero son económicas con propiedades

nutricionales, biológicas, de alta calidad con una puntuación de 90 a 134 dada por (DIAAS) Índice de Aminoácidos Indispensables Digestibles, esto hace que se considere buena fuente de aminoácidos para adultos y niños, según su presentación líquido o polvo. (Tsermoula et. al., 2021)

Un ejemplo del fraccionamiento del lactosuero es el aislamiento de proteínas el cual consiste en el retiro de las proteínas de suero dada su obtención por técnicas ya mencionadas como la separación de membrana o intercambio iónico las cuales poseen buenas propiedades funcionales, es decir de solubilidad, formación de espuma, formación de emulsión y gelificación, siendo altamente nutritivas. En la tabla 14 se resumen los principales usos de las proteínas del lactosuero en la industria alimentaria

**Tabla 14**

*Principales usos de la proteína de lactosuero en la industria alimentaria*

<b>Propiedad funcional</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>
Probióticos	Productos Lácteos Fermentados	(Costa et. al., 2018b)
Encapsulante	Encapsulación de extracto de romero	(Grace et. al., 2021b)
Emulsionantes	Ingrediente funcional	(Cui et. al., 2022)
Bio péptidos	Ingrediente funcional en la industria de alimentos (Antioxidante, antimicrobiano)	(C. Zhao Y Ashaolu, 2020)
Estabilidad térmica	Emulsiones alimentarias	(Setiowati et. al., 2020)

*Nota.* Muestra principales usos de la proteína de suero utilizados en la industria alimentaria. Elaboración propia teniendo en cuenta cada una de las investigaciones presentadas

***Clasificación de las proteínas del lactosuero según su pureza***

El lactosuero se puede concentrar para producir (WPC) proteínas concentradas del suero y (WPI) aislados proteicos de suero, el WPC es obtenido mediante procesos de ultrafiltración el

cual consta de una membrana semipermeable que permite pasar materiales de bajo peso molecular como agua, iones y lactosa, mientras que retiene materiales de peso molecular alto como la proteína.

Las proteínas concentradas del suero se definen como la sustancia obtenida por eliminación apta constituyente no proteico a partir del lactosuero para que el producto seco final retenga no menos del 25% de proteína. La mayoría de WPC en el mercado contiene desde 34% hasta 80% de proteína. Los aislados proteicos de suero tienen un 90% de proteína y entre un 4-5,5% de agua (Parra H, 2009).

### **Carbohidratos**

De acuerdo con Tsermoula et. al., (2021) las corrientes de suero contienen lactosa, varios oligosacáridos y cantidades menores de glucosa y galactosa. La lactosa es un disacárido reductor compuesto de glucosa y galactosa y se constituye el principal carbohidrato del suero dulce, posee un alto valor nutricional por que promueve la absorción de Ca, Mg y P en el intestino y la utilización de vitamina C. También se han identificado casi 50 oligosacáridos en la lactosa del suero dulce desproteínizado. Los oligosacáridos son la clase de carbohidratos compuesta de 3-10 unidades de monosacáridos y en el suero dulce por lo general contienen fucosa, N-aceglocosamina y ácidoN-acentilneuromínimo en diferentes proporciones.

### **Lípidos**

La grasa del lactosuero posee propiedades funcionales llamativas, dado que contiene fosfolípidos de membranas 10% a 15% de lípidos base seca que rodean el glóbulo de grasa de la leche. Siendo un componente altamente valorado por la facilidad de emulsificación de grasas en

gotas más pequeñas, también se caracteriza por su alta cantidad de esfingomielinas que resaltan interés por sus componentes.

En la tabla 15 se mencionan los componentes presentes en el suero ya mencionados como, carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales, entre otros. Detallando la actividad biológica de cada uno de estos componentes.

**Tabla 15**

*Componentes y Actividad biológica*

<b>Componente</b>	<b>Actividad Biológica</b>
$\beta$ -lactoglobulina	Absorción y metabolismo de sustancias lipofílicas.
$\alpha$ -lactoalbúmina	Anticancerígeno y antimicrobiano
Inmunoglobulinas	Inmunomodulador
Lactoferrina	Antimicrobiano
Lactoperoxidasas	Antimicrobiano
Lisozima	Antimicrobiano
Péptidos	Antihipertensivo, antitrombótico, antimicrobiano
Lactosa	Mejora la absorción de minerales, prebiótico.
Oligosacáridos	Probiótico
Lípidos	Fuente de energía
Fosfolípidos	Antibacteriano, neurodesarrollo
Potasio	Mineralización ósea, metabolismo energético
Magnesio	Activador de enzimas
Calcio	Mineralización ósea
Vitaminas	Antioxidantes, cofactores enzimáticos

**Nota.** Muestra componentes del lactosuero y su actividad biológica donde los componentes pueden ser aprovechados. Adapta de (Tsermoula et al., 2021)

## **Técnicas convencionales empleadas para la recuperación de los constituyentes del lactosuero y/o para su aprovechamiento**

### ***Electrodiálisis (ED)***

#### **Conceptualización y/o definiciones**

La electrodiálisis (ED) es un proceso de separación electroquímica mediante el cual las especies cargadas eléctricamente se transportan de una solución a otra. La ED se conoce como un método combinado de diálisis y electrolisis que se puede realizar con dos tipos de células principales:

- Células de múltiples membranas para aplicaciones de dilución y concentración y disociación de agua (Fenómenos de membranas).
- Células de electrolisis para reacciones redox (Fenómenos electrodos).

Talebi, Kee, et. al., (2019) Describe la electrodiálisis como un proceso en el que los iones se transfieren a través de membranas de intercambio iónico (IEM) bajo la aplicación de un campo eléctrico donde un módulo de ED contiene tres flujos de procesamiento principales: (I)Flujo diluido que esta desmineralizado, (II) corriente de concentrado que absorbe iones que se eliminan de la corriente de diluido y (III)Solución de electrolito que conduce la corriente a través del sistema y protege electrodos.

La aplicación de la electrodiálisis en la industria láctea empezó con la dilución y concentración en la desmineralización de la leche y productos derivados como el lactosuero. Para Dufton et. al., (2018) una solución para permitir el procesamiento del suero ácido a escala

industrial es desmineralizar y eliminar el ácido láctico combinando resinas de intercambio iónico y electrodiálisis, también considera que se puede optimizar utilización ED sin resinas de intercambio iónico, esta puede ser una opción rentable y ecoeficiente en el proceso real. En la actualidad la aplicación de ED ha permitido el desarrollo de nuevas técnicas derivadas de la electrodiálisis por medio de membranas Bipolares (EDBM) electrolysis by means of Bipolar membranes, que se basa en la formación de complejos de lipoproteínas siguiendo disminuciones simultáneas de pH y la fuerza iónica que es una tecnología innovadora, ecológica y sin requerimientos de reactivos químicos durante el proceso. (Faucher et. al., 2020).

Además del desarrollo de la EDBM también se han generado investigaciones sobre la configuración de la ED que buscan una mayor optimización y rendimiento como lo es el caso de la investigación elaborada por Dufton et. al., (2018) donde llevo a cabo una investigación que se basó en la configuración de los parámetros electro dialíticos que influía en la desedificación y desmineralización del suero acido con un efecto sobre el equilibrio de las especies iónicas y la evolución de la migración.

### **Descripción del proceso**

Para Avila et. al., 2000 la electrodiálisis consiste en separar iones de un fluido mediante la utilización de membranas selectivas a cationes (membranas catiónicas) y membranas selectivas a los aniones (membranas aniónicas). Estas membranas se colocan de manera alterna formando una celda *Figura 14*. Al final del apilamiento de membranas se colocan los electrodos (cátodo y ánodo).

## Figura 14

*Esquema de un Electro dializador.*



*Nota.* Represente esquema de electrolizador tomada de (Avila et. al., 2000)

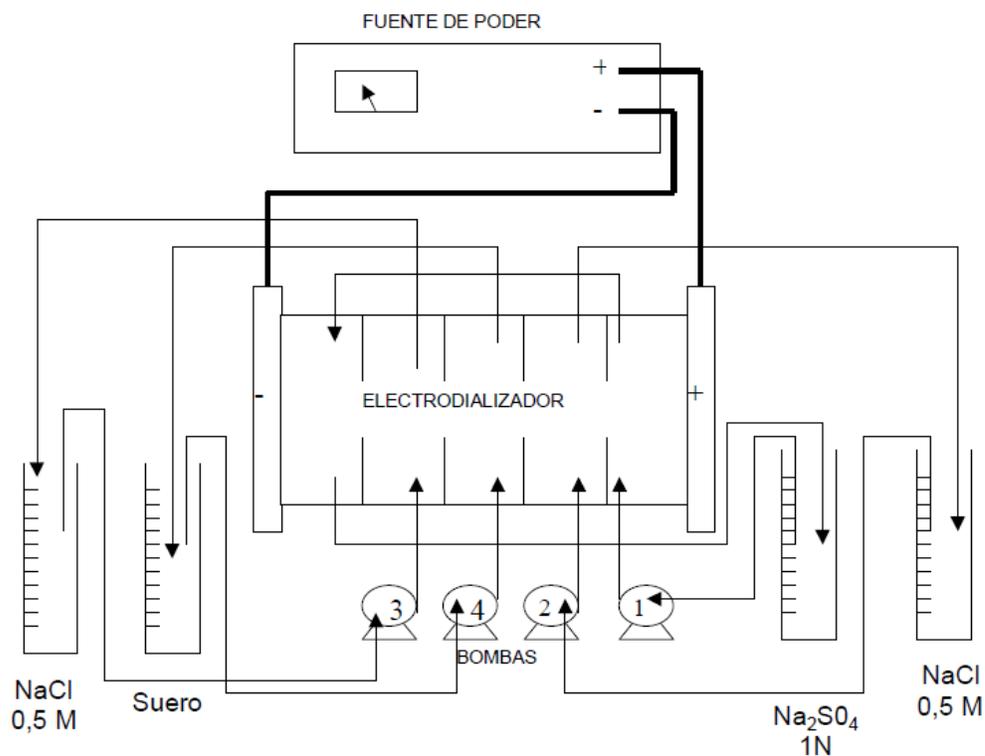
Al crear una diferencia de potencial eléctrico los cationes se mueven hacia el cátodo, pero son detenidos por las membranas aniónicas y los aniones migran hacia el ánodo, pero son retenidos por las membranas catiónicas. Según esta representación algunas celdas establecen los iones y otras los enriquecen; las primeras se consideran como celdas de dilución mientras las segundas celdas son de concentración. En los electrolizadores industriales el número de celdas es elevado entre 100 y 500 pares. (Avila et al., 2000).

Avila et. al., 2000 expone el tratamiento del lactosuero usando la técnica de electrodiálisis, para ejecutar la experiencia se usa un electrolizador, para este proceso se describirá la utilización de un electrolizador tipo kel'f como se observa en la figura 15, este consiste en 5 celdas y dos electrodos. El espacio entre membranas es de 1.5cm con un área efectiva de membranas de 37.5cm<sup>2</sup>. El montaje de este equipo es similar al de un filtro de prensa. Se instala un electrodo, un sello, un separador de membrana y un sello para formar una celda repitiéndose para instalar un total de 5 celdas y se cierra con el segundo electrodo figura 15.

Cada celda representa un circuito hidráulico el cual se encuentra alimentado por una bomba. Los circuitos son cuatro uno de lavado de electrodos (Circuito 1 Figura B2), conectado a dos celdas hidráulicamente en serie y alimentado por una bomba con una solución 1N de sulfato de sodio. Hay dos circuitos independientes de concentración (circuitos 2 y 3) alimentados por dos bombas con solución de cloruro de sodio 0,5N y una celda central de dilución (circuito 4) en la cual se alimenta el lactosuero.

### Figura 15

*Diagrama del montaje experimental del electro dializador tipo kel'f*



*Nota.* Adaptado de diagrama del montaje experimental del electro dializador tipo kel'f utilizando los circuitos que se enumeran en las bombas: 1 : circuito 1; 2:circuito 2; 3: circuito 3; y 4:circuito 4 (Avila et al., 2000)

Avila et. al., 2000 También expone las membranas usadas durante el proceso las cuales fueron: Membrana catiónica fuerte tipo CM1, una membrana amniótica tipo AFN, una membrana catiónica fuerte tipo CR2 y una membrana aniónica fuerte del tipo AMX. Las dos

membras que están en contacto directo con el lactosuero (AFN Y CR2) se seleccionaron por su resistencia al taponamiento orgánico. El seguimiento de la operación se hizo por conductimetría y pH donde se tomaron muestras cada 15 minutos. Se determinó el empobrecimiento en iones del lactosuero en el tiempo. La efectividad de la técnica se comprueba con el análisis antes y después de aplicada en el producto (lactosuero). En la tabla 16 se mencionan las variables operacionales para el proceso de electrodiálisis.

**Tabla 16**

*Matriz de operaciones variables de proceso electrodiálisis*

<b>Método</b>	<b>Tipo de Variable</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidad de medida</b>
Electrodiálisis	Independiente	Concentración de la alimentación de corrientes diluidas	kWh/m <sup>3</sup>
		Concentración de alimentación de corriente a concentrar	kWh/m <sup>3</sup>
		Composición de la corriente de alimentación de electrodo	mol/L de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
		Temperatura	°C
		Caudal	Q
		Membranas	n <sub>pr</sub>
	Dependiente	Concentración de la corriente	kWh/m <sup>3</sup>
		Necesidad de superficie de membrana	mm
		Tensión eléctrica	A
		Energía de bombeo	bar
		Densidad de corriente	m/A/cm <sup>2</sup>

*Nota.* Se presenta matriz de operaciones de variables para un método moderno y convencional de la aplicación de técnica por electrodiálisis, siendo: n<sub>pr</sub> Numero de pares de membranas. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### **Revisión literatura científica**

Las investigaciones desarrolladas de la electrodiálisis (ED) aplicadas al uso del lactosuero reconocen la aplicación tan importante que tiene esta técnica para la valorización del lactosuero, en esta indagación se pueden observar diferentes investigaciones aplicadas para los diferentes tipos de lactosuero ácido, dulce y salado. En cada una de ellas se especifica una necesidad

diferente aplicando la técnica de electrodiálisis con membranas bipolares (EDBM) la cual es una técnica configurada con la ED con excelentes resultados.

Para el caso del aprovechamiento del lactosuero Salado X. Chen et. al., (2020) evaluó la utilización de la electrodiálisis con membranas bipolares como técnica de transformación de este efluente salino en hidróxido de sodio y ácido clorhídrico para su reutilización en la fábrica donde es resultante de la elaboración de queso cheddar y colby.

Chen et. al., 2020 expone que en la fabricación de productos lácteos se generan grandes cantidades de efluentes salinos y particularmente en los procesos que se agrega sal (cloruro de sodio) a las cuajadas de queso ricas en proteínas, para reducir su  $A_w$ ... (actividad de agua) especialmente en la producción de quesos Cheddar y Colby, el exceso de humedad contiene una gran cantidad de sal añadida la cual es eliminada durante la etapa de prensado, formando una corriente de salmuera denominada suero salado, el contenido usual de sal es de 0,7 a 1,7 mol (4,1-10%) lo cual evidencia la importancia de tratarlo para evitar daños ambientales a causa de su eliminación en cuencas o ambientes no apropiados limitados a las regulaciones que protegen el cuidado del medio ambiente y cultivos agropecuarios.

X. Chen et al., (2020) realizaron el estudio con el fin de aplicar la técnica de EDBM para transformar el suero salado en productos químicos de limpieza para la reutilización en la planta productora, esto lo desarrollaron a través de ED de voltaje constante con membranas bipolares para producir hidróxido de sodio y ácido clorhídrico a partir de las corrientes saladas. Se utilizaron soluciones de NaCl puro para determinar la concentración máxima ácido/base y optimizar las condiciones del proceso, las mezclas utilizadas de NaCl, así como las muestras de suero salado fueron recogidas de la misma planta donde el estudio buscó la aplicación de los productos químicos de limpieza, observando una viabilidad económica a la hora de transformar

el suero salado. La investigación arrojó resultados factibles que demostraron la eficacia de la técnica EDBM, para la transformación del suero salado en productos químicos de limpieza con el objeto de reutilizarlos en la planta procesadora y en general en la industria láctea.

La investigación de Faucher et. al., 2021 evaluó maximizar la valorización del suero dulce para poder generar la producción de productos derivados de alta calidad al aislar lípidos residuales. Se pueden llevar a cabo procesos de desgrasado como precipitación inducida por zinc, precipitación termo cálcica o precipitación de quitosano; pero estos métodos a pesar de ser eficaces generalmente son usados a pequeñas escalas industriales, pueden causar daños ambientales, no son del todo eficaces para dar una verdadera valorización al lactosuero. Por otro lado, la electrodiálisis por membranas bipolares es una tecnología innovadora y ecológica derivada de la ED, la cual también se puede utilizar para la eliminación de lípidos residuales del lactosuero dulce sin agregar químicos, se ha aplicado en la industria láctea en diferentes necesidades y procesos industriales.

Faucher et. al., 2021 indagó sobre la aplicación de la técnica de electrodiálisis con membranas bipolares (EDBM) la cual permite la formación de complejos de lipoproteínas después de la reducción de pH y la fuerza iónica, tratando concentrados de proteína de suero con diferentes factores de concentración de proteína (2.27X, 3.34X, 3.56X, 3,80X) por EDBM evaluando el impacto del factor de concentración de proteína y la eficiencia del proceso, específicamente en la tasa de desgrasado. El estudio arrojó que a pesar de que cualquiera fuera el factor de concentración de proteínas, se necesitaba una dilución para lograr alcanzar tasas de desgrasado más altas (6X) con la técnica de EDBM no resultó suficiente para reducir la fuerza iónica y promover la formación de complejos de lipoproteínas. Luego de aplicado el proceso de EDBM un factor de concentración aumentó ligeramente la tasa de desgrasado con una fuerza

iónica más baja y mayor contenido de proteínas favoreciendo el complejo de lipoproteínas. Concluyendo que para la obtención de un desgrasado más alto, es necesario priorizar la dilución después de EDBM y un factor de proteína más alto donde es necesario evaluar que al usar contenidos más altos de proteína no se generen resultados negativos por lo que se considera interesante continuar con el estudio que genere más información sobre los complejos de lipoproteínas.

Además de resaltar las anteriores investigaciones, la electrodiálisis, durante mucho tiempo ha funcionado como técnica para el mejoramiento del lactosuero en distintas aplicaciones, teniendo como objeto la optimización de este para mejorar su uso en nuevos productos generando valor agregado a la producción de bioactivos de valor económico para la industria alimentaria (Wang et. al., 2020). En la tabla 17 se mencionan algunas de las investigaciones más recientes aprovechando este coproducto.

**Tabla 17**

*Investigaciones recientes aplicando método de eletrodiálisis.*

<b>Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero.</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Productos químicos de limpieza	Suero Salado	Optimización de los procesos en la industria láctea por la valorización del lactosuero salado proveniente de los quesos cheddar y colby.	(X. Chen et. al., 2020)
Recuperación de fosfolípidos de suero dulce y concentrado de proteína de suero	Suero dulce	Recuperación de Fosfolípidos del suero dulce y concentrado de proteína promoviendo la formación de complejos de lipoproteínas.	(Faucher et. al., 2020)
Desgrasado de Suero dulce	Suero dulce	Valorización del suero Dulce por medio de la	(Faucher et. al., 2020)

<b>Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero.</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
		eliminación de lípidos residuales.	
Rendimiento de la alcalinización del suero ácido	Suero ácido	Alcalización de suero ácido para potenciar el uso de este por medio de la aplicación de EDBM para la eliminación de ácido láctico permitiendo un fácil tratamiento para la utilización de nuevos productos.	(Kravtsov et. al., 2020)
Impacto de la composición del suero ácido normal en la tasa y extensión de desacidificación y desmineralización durante el procesamiento de ED	Suero Acido	Evaluar el impacto en la composición del suero ácido proveniente de productos como requesón, quark, skyr normal en la tasa de y extensión en la desedificación y desmineralización durante el proceso de ED.	(Nielsen et. al., 2021)
Electrodiálisis del permeado de ultrafiltración de suero salado como concentrado para el tratamiento de suero dulce o como fuente de lactosa y sal.	Suero Dulce Suero salado	Aplicación del permeado de suero salado las cuales podrían agregar valor al procesamiento de productos lácteos.	(Talebi, Kee, et. al., 2019)
Aplicación de electrodiálisis por medio de membranas bipolares para la corrección del pH del lactosuero luego de la electrodiálisis convencional.	Suero Acido Suero Dulce	Uso del lactosuero desalado y utilizarlo desmineralizado como materia prima para la creación de nuevos productos alimenticios por su alto valor nutritivo.	(Merkel et. al., 2018)
Aislamiento de lactoferrina e inmunoglobinas del suero de leche mediante el proceso de electrodiálisis con membranas de filtración.	Suero	Recuperación de proteínas, las cuales pueden producir ingredientes bioactivos de alto valor económico para la industria alimentaria.	(Wang et. al., 2020)
Ensuciamiento de la membrana durante la electrodiálisis de suero dulce y ácido.	Suero Dulce Suero Acido	Su aplicación en la industria alimentaria investiga el ensuciamiento de las membranas de	(Talebi, Chen, et. al., 2019)

Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero.	Tipo de suero	Aplicaciones en la industria de alimentos	Referencia
Des acidificación del suero acido y descamación de la membrana	Suero Acido	intercambio iónico durante la electrodiálisis aplicadas al suero dulce y salado.  Presentar una alternativa y ecoeficiente para las industrias lácteas por medio de la desmineralización y des acidificación del suero acido mediante electrodiálisis.	(Dufton et. al., 2018)

*Nota.* Se muestran las investigaciones más recientes en las cuales se ha utilizado a la técnica de electrodiálisis como técnica de optimización y generación de nuevos productos provenientes del lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta las investigaciones presentadas.

### ***Microencapsulación***

#### **Conceptualización y o definiciones**

La microencapsulación durante mucho tiempo ha sido una técnica aplicada para encapsular ingredientes alimentarios como sabores, licopeno, y lípidos Maleki et al.,( 2020) . Se han desarrollado varios estudios que buscan el papel protector de la aplicación de esta técnica frente a condiciones adversas a las que pueden estar expuestos los probióticos. El método común usado para la encapsulación de probióticos es el método de secado por aspersión dado sus buenos rendimientos de proceso.(Pinto et. al., 2015).

Burgain et. al., 2011 dice que la microencapsulación es una técnica usada en la industria de alimentos para mantener compuestos bioactivos como enmascarar olores, sabores y colores, proporcionando una vida útil más prolongada. También es altamente reconocida por la microencapsulación de probióticos, los cuales se utilizan para proteger las células contra un entorno adverso y liberación más controlada.

Maleki et. al., 2020 expone que las proteínas del suero se han utilizado con éxito como vehículos para encapsular la grasa láctea anhidra mediante el secado por aspersion y el rendimiento de encapsulación con una superioridad del 90%.

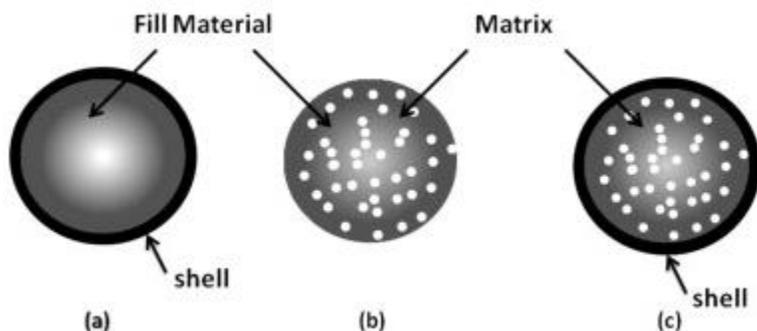
Para Maciel et. al., (2014 )la microencapsulación es una tecnología ventajosa para el suministro y almacenamiento de cultivos probióticos. Entre las técnicas de microencapsulación el secado por aspersion tiene un bajo costo operativo y se presenta como una buena alternativa para producción a gran escala. Se ha investigado la utilización de diferentes materiales alimenticios para la encapsulación de probióticos mediante esta técnica entre ellos el suero dulce.

Rosolen et. al.,(2019) mencionan que entre los materiales encapsulantes el suero es un material favorable para la encapsulación de probióticos, considerando que es un subproducto de la industria láctea representando bajos costos y altos valores nutricionales. La utilización de este se ha investigado solo y con la combinación de polisacáridos, demostrando eficacia en la protección de bacterias probióticas.

De acuerdo con Burgain et. al., (2011)-el encapsulamiento como proceso fisicoquímico o mecánico es usado para atrapar una sustancia en un material con el fin de producir partículas con diámetros de unos pocos nanómetros a unos pocos milímetros. Resalta que la encapsulación de componentes bioactivos se puede utilizar en muchas aplicaciones de la industria alimentaria controlando la reacción oxidativa, enmascarando los sabores, colores y olores, proporcionando una liberación sostenida y controlada, también prolongando la vida útil. Se pueden encontrar diferentes tipos de encapsulado, tipos de depósito y tipos de matriz los cuales se pueden observar en la figura 16.

## Figura 16

### *Sistemas de encapsulación*



*Nota.* Presenta diferentes sistemas de encapsulación siendo: (a) Tipo de depósito, (b) Tipo de matriz y (c) tipo de matriz recubierta, tomado de (Burgain et. al., 2011)

Burgain et. al., (2011) menciona que el tipo de depósito tiene una cubierta alrededor del material del núcleo y es por eso por lo que también se le puede llamar cápsula. En el tipo de matriz el agente activo se dispersa sobre el material portador y también se puede encontrar en la superficie y la combinación de estos dos puede generar un tercer tipo de capsula: la matriz donde el agente activo se recupera mediante recubrimiento.

### **Descripción del proceso**

De manera amplia la aplicación de la microencapsulación se puede utilizar para muchas aplicaciones de la industria alimentaria, donde se encuentra incluida la estabilización del material del núcleo, control de la reacción oxidativa, enmascaramiento de colores, sabores y prolongación de la vida útil para proteger componentes contra la pérdida nutricional. La tecnología de microencapsulación cuenta con diferentes técnicas de aplicación. En la tabla 18 se observa una breve descripción de cada una de las técnicas de microencapsulación de microorganismos probióticos, tipos de materiales para revestimiento y la descripción del proceso de cada paso según cada una de las técnicas.

**Tabla 18***Descripción de técnicas de microencapsulación*

<b>Técnicas de Microencapsulación</b>	<b>Tipos de materiales para revestimiento</b>	<b>Pasos Principales en los procesos</b>
Secado por aspersión	Polímeros solubles en agua	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Preparación de las soluciones incluidos los microorganismos.</li> <li>b. Atomización de la alimentación en spray</li> <li>c. Secado del aerosol (Evaporación de humedad)</li> </ol> Separación de la forma de producto seco
Congelación por aspersión	Ceras, ácidos grasos, polímero solubles e insolubles en agua, monómeros	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Preparación de las soluciones que contiene el núcleo (ejm probióticos)</li> <li>b. Solidificación de la capa mediante la solidificación de los materiales de recubrimiento fundidos en no solventes.</li> </ol> Eliminación de materiales no solventes mediante técnicas de sorción, extracción o evaporación.
Revestimiento de lecho fluidizado /suspensión neumática	Polímeros, lípidos y ceras insolubles y solubles en agua	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Preparaciones de soluciones de revestimiento</li> <li>b. Fluidez de las partículas del núcleo</li> <li>c. Recubrimiento de las partículas del núcleo con soluciones de recubrimiento</li> </ol>
Extrusión	Polímeros solubles en agua e insolubles en agua	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Preparaciones de soluciones de revestimiento</li> <li>b. Dispersión del material del núcleo</li> </ol> Enfriamiento o paso de mezcla de núcleo - capa a través de líquido deshidratante

<b>Técnicas de Microencapsulación</b>	<b>Tipos de materiales para revestimiento</b>	<b>Pasos Principales en los procesos</b>
Técnica de conservación / separación de fases	Polímeros solubles en agua	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Material del lactosuero núcleo se dispersa en una solución de polímero de revestimiento, siendo el disolvente del polímero la fase líquida del vehículo de fabricación</li> <li>b. Deposición del recubrimiento, obtenida mediante una mezcla física controlada del recubrimiento y los materiales del núcleo en la fase del vehículo.</li> <li>c. Rigidez del recubrimiento mediante técnicas térmicas, de reticulación, para formar microcápsulas auto sostenibles.</li> </ol>
Método electrostático	Polímeros/ compuestos con carga opuesta	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Mezcla de materiales del núcleo de revestimiento</li> <li>b. Extracción de mezclas de materiales de revestimiento de núcleos en soluciones con carga opuesta</li> </ol> <p style="text-align: center;">Secado por congelación o en horno de microcápsulas</p>

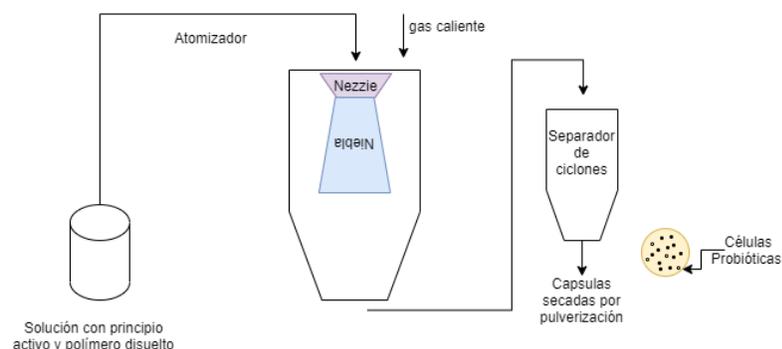
*Nota.* Se observa una breve descripción de las técnicas de microencapsulación de microorganismos probióticos tomada de Anal y Singh, (2007).

Para la microencapsulación se utilizan diferentes técnicas como secado por aspersión, emulsificación, método de extracción, encapsulación por recubrimiento y aglomeración Burgain et. al., (2011). La técnica de secado por aspersión consiste en preparar una solución de células vivas probióticas y la matriz polimérica disuelta. Esta técnica tiene la ventaja de rapidez y bajo costo de aplicación, es reproducible y adecuada para aplicaciones industriales, en la figura 17 se representa un diagrama de la aplicación de esta técnica aplicada en el proceso de microencapsulación, la cual consiste en presionar la solución y luego atomizar para formar una niebla en la cámara de secado, el gas caliente (aire o nitrógeno) también se inyecta en la cámara

de secado donde este gas permite la evaporación del solvente. Luego las capsulas se transportan a un separador ciclónico para su recuperación.

### Figura 17

#### Procedimiento de secado por aspersión aplicado en la microencapsulación



*Nota.* Ilustra presentación esquemática del procedimiento de secado por aspersión aplicado en la microencapsulación Adaptado de Burgain et. al., (2011)

### Operación de Variables

En la tabla 19 se presenta la operacionalización de las de variables que pueden intervenir en el proceso de microencapsulación.

**Tabla 19**

#### Matriz operacionalización variables de proceso de microencapsulación

Método	Tipo de Variable	Variable	Unidad de medida
<b>Microencapsulación por secado por aspersión:</b>	Independiente	Relación de material de pared respecto al material encapsulado	NA
	Dependiente	Temperatura de entrada del aire de secado	°C
		Eficiencia del encapsulamiento	%EE
		Contenido del material encapsulado en la superficie del material de barrera.	%.
		Contenido de humedad	%H base seca
		Tamaño promedio de la partícula.	µm

*Nota.* Muestra las operaciones variables para dos procesos convencionales de microencapsulación utilizando la técnica de secado por aspersión. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

## Revisión Literaria Científica

Maleki et. al., 2020 Describe que el lactosuero es altamente necesario para la encapsulación por ser uno de los polímeros más utilizados para satisfacer la demanda de una mejor encapsulación de los probióticos generando varias investigaciones debido a su alta capacidad para formar microcápsulas rápidamente en diferentes condiciones y utilizando diferentes técnicas.

La microencapsulación es una técnica muy versátil en la industria alimentaria, juega un papel muy importante para la encapsulación de probióticos, se definen como “microorganismos vivos que afectan de manera beneficiosa la salud del huésped mejorando su equilibrio microbiano” (Maleki et. al., 2020). Actualmente el lactosuero juega un papel muy importante incorporándose como material de pared solo o combinado con polisacáridos, demostrando eficiencia por su alto valor nutritivo y el bajo costo que representa al ser un coproducto de la industria láctea, el cual muchas veces por falta de conocimiento se desecha y no se da valor a sus diferentes propiedades. (Rosolen et. al., 2019)

Se encuentran investigaciones las cuales analizan el lactosuero como material para la encapsulación de diferentes bioactivos como *lactobacillus rhamnosus ATCC 7469*, *lactococcus lactis subsp. Lactis R7*, supervivencia de *Bifidobacterias de BB12*, *lactobacillus plantarum ATCC 8'14*; entre otros los cuales son beneficiosos para la salud. Con esta técnica se ha analizado la prolongación de la vida útil de los bioactivos hasta de 6 meses, mejorando significativamente la capacidad de supervivencia de las bacterias probióticas en condiciones gastrointestinales simuladas (Maleki et. al., 2020); el lactosuero es considerado como material de encapsulación de aceites como el de semilla de gürum y aceites ricos en omega 3 (aceites de pescado).

El lactosuero es uno de los materiales utilizados para la microencapsulación de semilla de gurum considerado como agente encapsulante de grasas y compuestos volátiles, destacando sus beneficios nutricionales y mejorando la vida útil y estabilidad de los aceites—para el encapsulamiento de aceite de pescado (aceite de omega 3) la proteína del lactosuero es considerado como un aporte altamente nutricional completando con funcionalidad versátil y sabor limpio (Hinnenkamp et. al., 2021).

Además de la aplicación de las proteínas de lactosuero la investigación llevada a cabo por Hinnenkamp et. al., (2021) considera que los lípidos también pueden ser altamente desarrollados como potencial para ser un emulsificante, siendo de bajo costo en aplicaciones de alto valor como la microencapsulación y dando más valor al lactosuero de cada una de la propiedades que puede brindar a diferentes productos beneficiosos para la salud.

Teniendo en cuenta algunas de las investigaciones descritas en esta revisión, se analiza que el lactosuero es un valioso coproducto no solo por sus proteínas sino también por su contenido de lípidos, los cuales proporcionan grandes cualidades en la utilización de la encapsulación de bioactivos y aceites, conservando de manera efectiva los encapsulamientos y resaltando su bajo costo. Puede ser tan apetecido en las industrias como otros materiales utilizados en la técnica de microencapsulación dando un valor agregado adicional por su alto contenido nutricional.

La aplicación de la técnica de microencapsulación ha permitido desarrollar nuevos productos derivados de lactosuero, que se utilizan principalmente como componente en el envasado de alimentos o fármacos, en beneficio del consumo humano, este coproducto es uno de los materiales principales para la encapsulación, promoviendo el aprovechamiento del afluente

salino. En la tabla 20 se pueden observar diferentes investigaciones que se han desarrollado en los últimos años donde se ha aplicado esta técnica.

**Tabla 20**

*Investigaciones recientes aplicando método de microencapsulación*

<b>Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Microencapsulación simbiótica de <i>lactococcus lactis subs. Lactis R7</i>	Suero	Uso de material encapsulante como material protector de las células de lactics R7 de los efectos de jugos gástricos e intestinales. Siendo un material en potencia para la aplicación de alimentos	(Rosolen et. al., 2019)
Microencapsulación de <i>lactobacillus plantarum ATCC 8014</i>	Suero	Uso de suero como material de pared de microencapsulación se minimiza el impacto de residuos lácteos, dando una nueva aplicación con valor agregado. Expandiendo el mercado de alimentos funcionales.	(Eckert et. al., 2017)
Encapsulación de aceite de pescado	Suero dulce	Aprovechamiento de las proteínas del lactosuero aportando estabilidad a la encapsulación de aceite de pescado.	(Hinnenkamp et. al., 2021)
Microencapsulación de <i>lactobacillus acidophilus</i>	Suero Dulce	Desarrollo de nuevos productos alimenticios funcionales	(G. M. Maciel et. al., 2014)
Bifidobacterium Bb 12 micro encapsulado	Suero Dulce	Uso del suero liquido como agente encapsulante, minimizando impactos ambientales.	(De Castro Cislighi et. al., 2012)
Encapsulación de <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Suero Dulce	Fabricación de productos lácteos fermentados con características de mayo valor como la estabilidad durante el almacenamiento y mayor productividad	(Pimentel-González et. al., 2009)
Proteína de suero como	Suero Dulce	Construcción de	(Grace et. al., 2021b)

Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/	Tipo de suero	Aplicaciones en la industria de alimentos	Referencia
material de pared encapsulante para aceites esenciales		ingrediente de etiqueta limpia, versátil para la industria de alimentos	
Microencapsulación de la levadura probiótica nativa del suero <i>Kluyveromyces marxianus</i>	Suero	Aprovechar propiedades funcionales variadas como la emulsificación y gelificación de las proteínas del suero	(Vanden Braber et. al., 2020)
Microencapsulación de curcumina	Suero Dulce	Utilización del concentrado de proteína de suero junto a otros como de pared como material encapsulante para curcumina seca	(Meena et. al., 2021)
Microencapsulación de <i>Lactobacillus rhamnosus</i> ATCC 7669	Suero Dulce	Proteína del suero como material de pared mejorando la supervivencia de bacterias probióticas contra la condición gastrointestinal	(Maleki et. al., 2020)

*Nota.* Muestra las investigaciones Recientes sobre la aplicación de la microencapsulación en el tratamiento del lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### ***Secado por aspersión -secado por pulverización***

#### **Conceptualización y o definiciones**

Leylak et. al., 2021 Define el secado por aspersión como una técnica ampliamente utilizada en la industria alimentaria, se ha utilizado con éxito para encapsulación de probióticos.

Burgain et. al., 2011 dice que el secado por aspersión tiene ventajas como la rapidez y el bajo costo del proceso. Esta técnica es ampliamente reproducible y óptima para aplicaciones industriales, también define el método de liofilización por pulverización donde lo describe como la combinación de los pasos más comunes para la liofilización y el secado por aspersión donde las células probióticas están en una solución que se atomiza en una fase de vapor frío de un líquido criogénico.

El proceso de secado por aspersión es la transformación de soluciones o suspensiones líquidas en productos en polvo como partículas amorfas, las cuales se forman rápidamente mediante la eliminación del agua junto con el enfriamiento rápido del material. Las variables que influyen en el proceso como temperaturas del aire de secado, la velocidad del disco atomizador y la formulación de la alimentación, son las que definen el rendimiento del procesamiento y las características del producto obtenido.(Ruano Uscategui et al., 2018)

Meena et. al., 2021 describe el secado por aspersión como un proceso de transformación de fluido en un producto seco en una sola operación, con poco efecto en la calidad, presentándose como técnica común de encapsulación en la industria de alimentos.

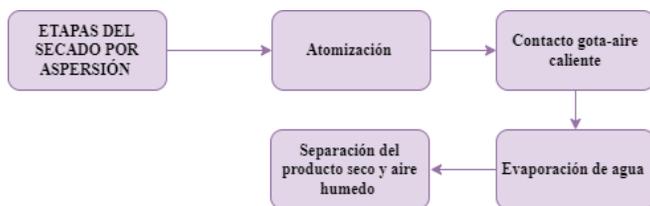
### **Descripción del proceso**

El secado por aspersión es una operación donde un producto líquido es atomizado en una corriente de gas caliente para obtener un polvo instantáneamente. El gas regularmente usado es aire y más extrañamente un gas inerte como el nitrógeno. El líquido primeramente alimentado al aspersor puede ser una solución una emulsión o una suspensión. Varía depende del material inicial y condiciones de la operación, el secado por aspersión origina un polvo muy fino (10-50 $\mu$ m) o partículas de tamaño grande 2-3mm (de la Rosa y Angulo, 2011)

En la figura 18 se representa esquema de las etapas de secado por aspersión.

## Figura 18

### *Etapas del secado por aspersión*

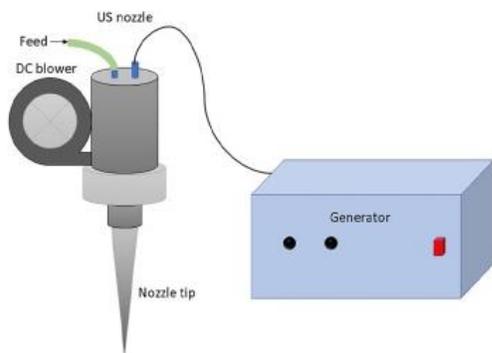


*Nota.* La figura 18 representa etapas del proceso de secado por aspersión. Elaboración propia con base a las investigaciones presentadas.

De acuerdo a Prabhuzantye et. al., (2019) En el proceso de secado por aspersión se utiliza una boquilla ultrasónica, la cual funciona con bomba de alimentación de 1,5 ml/ min teniendo en cuenta la muestra que requiera el proceso para la cual se utilice. Los procesos de atomización dependen en gran medida de la amplitud vibratoria y la frecuencia de la boquilla ultrasónica ilustrada en la figura 19.

## Figura 19

### *Representación esquemática de una boquilla*



*Nota.* Representa esquema de una boquilla ultrasónica utilizada en la técnica de secado por aspersión para el proceso de retenido. Siendo: Fedd = Alimentar, Dc blower= Ventilador, us nozzle = boquilla y Generator= generador. Tomada de (Prabhuzantye et al., 2019)

En la tabla 21 se describen la matriz de operacionalización de variables del proceso secado por pulverización y aspersión.

**Tabla 21**

*Matriz operacionalización de variables de proceso de secado por pulverización y por aspersión*

Método	Tipo de Variable	Variable	Unidad de medida
<b>Secado por pulverización</b>	Independiente	Temperatura de entrada y salida	°C
		Concentración	%
	Dependiente	Actividad de Agua	Aw
		Contenido de humedad	H
<b>Secado por aspersión</b>	Independiente	Temperatura de entrada y de salida.	°C
		Flujo de alimentación	m <sup>3</sup> /s
	Dependiente	Velocidad del disco atomizador	rpm
		Contenido de humedad	%H base seca
		Tamaño de la partícula	µm
		Densidad aparente	Kg/m <sup>3</sup>

*Nota.* Presenta operaciones variables de dos procesos usando tecnología de secado por aspersión y pulverización aplicado al lactosuero para el desarrollo de nuevas investigaciones (rpm: revoluciones por minuto). Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### **Revisión literaria científica**

El secado por aspersión / pulverización es una técnica aplicada a diferentes productos los cuales se presentan en este capítulo, tiene el fin de exaltar propiedades de productos alimentarios por medio de la utilización del lactosuero para generar nuevos productos y para el tratamiento de este coproducto, por ejemplo se usa el lactosuero como material encapsulante por medio de secado por aspersión para diferentes aceites , también combinado con productos como concentrado de jugo de caña, mezcla de concentrado proteína de suero de extracto de cúrcuma (Gomes et. al., 2021), quesos en polvo, optimización en la producción de dátil en polvo (Moghbeli et. al., 2020) concentrado de proteínas del suero, tratamientos de blanqueamiento

entre otros. En general el secado por aspersión es una técnica muy importante la cual demuestra una mejor conservación y vida útil en los productos que se lleva a cabo (Meena et. al., 2021).

Algunas de las investigaciones más recientes donde esta técnica es aplicada, son la obtención y comparación de compuestos bioactivos y contenido de nutrientes de la mezcla de concentrado de proteína de suero de extracto de cúrcuma producida por secado por aspersión y por secado por esterilla de espuma (Gomes et. al., 2021). Debido a sus altas cualidades funcionales y técnicas que brinda esta mezcla se estableció una investigación para determinar cuál es el mejor método de secado para este producto, comparando compuestos bioactivos y contenido de nutrientes, determinando preferencia y estabilidad del método. Según la investigación el tratamiento de secado por aspersión en el contenido de nutrientes de la mezcla demostró que es una excelente alternativa para el consumo humano obteniendo aceptabilidad sensorial, nutrientes, y compuestos bioactivos benéficos para la salud humana (Gomes et. al., 2021).

La proteína de suero combinada con otros materiales es excelente como encapsulante para la potenciación de nuevos alimentos proteicos sin adición de químicos.

Wu et al., (2021) llevo a cabo una investigación centrada en la creación de nuevos ingredientes proteicos encapsulados de manera compatible con los alimentos, desarrollando la neutralización de solución de aislado de proteína con grosella negra (antioxidante) mediante la técnica de secado por aspersión, demostrando efectividad en propiedades físicas y funcionales, revelando que los enlaces de hidrogeno son las principales fuerzas de la unión entre la grosella negra y la proteína de suero resultando en complejos esenciales para la formulación de nuevos productos proteicos encapsulados los cuales se pueden utilizar en una matriz practica alimentaria.

La técnica de secado por aspersión también es utilizada para optimizar la producción de dátiles en polvo con la ayuda de complejos de proteína de suero (Moghbeli et. al., 2020) llevo a cabo una investigación, la cual pretende resaltar la utilización del dátil como sustituto de la azúcar blanca, ya que la proteína de suero contenida en este es de alto valor causando un alimento rico en azúcar.

La investigación demostró que la aplicación de la técnica de secado es eficaz produciendo dátiles en polvo con alta vida útil y un contenido de proteína de suero del 10% dando a entender que es posible reemplazar el consumo de azúcar blanca en formulaciones alimentarias.(Moghbeli et. al., 2020).

Se han desarrollado diferentes investigaciones, donde se aplica el secado por aspersión y pulverización al lactosuero. En la tabla 22 se mencionan algunas de estas investigaciones las cuales también presentan la generación de nuevos productos.

**Tabla 22**

*Investigaciones recientes aplicando método de secado por aspersión y pulverización*

<b>Productos obtenidos, usos o investigaciones.</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Ajuste de pH y tratamiento térmico sobre la desaminación de la proteína de suero	Dulce	Mejorar funcionalidad de las proteínas del suero y propiedades como solubilidad, emulsión y formación de espuma.	(Ho et. al., 2021)
Obtención de proteínas de suero a partir del suero	Dulce	Generar procesos eficaces para la recuperación de proteínas del suero.	(Prabhuzantye et. al., 2019)
Efecto de agentes blanqueadores sobre la degradación de vitaminas y carotenoides	Salado	Eliminación de norbixina (colorante utilizado en la producción de queso cheddar) del suero.	(Stout et. al., 2017)
Mezcla de concentrado de proteína de suero y extracto de cúrcuma	Suero	Preservar compuestos mezclados de proteína de suero y cúrcuma	(Gomes et. al., 2021)
Nuevos productos	Suero	Formulación de	(Wu et. al., 2021)

<b>Productos obtenidos, usos o investigaciones.</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
proteicos de manera compatible con los alimentos sin químicos		productos en polvo que se utilizaran como ingredientes en una matriz alimentaria	
Influencia de la proporción de la proteína del suero a caseína	Suero Dulce	Utilización de mezclas húmedas de proteína de suero a caseína sobre las propiedades de fórmulas infantiles	(Masum et. al., 2020)
Monitoreo de propiedades del suero en polvo en condiciones aplicables al secado por aspersión	Suero Dulce	Utilidad de diversos indicadores para monitorear el avance de la reacción de Maillard en condiciones aplicables al secado por aspersión	(Gómez-Narváez et. al., 2019)
Suero dulce en polvo aplicado en quesos en polvo	Suero Dulce	Mejorar propiedades de reconstitución en quesos en polvo por medio de la pulverización de suero dulce	(Felix da Silva et. al., 2018)
Producción de Dátiles	Suero Dulce	Utilización del lactosuero por medio del secado por atomización para la obtención de polvo de Dátil	(Moghbeli et. al., 2020)
Concentrado de jugo de caña de azúcar y proteína de suero	Suero Dulce	Presentar estudio sobre la combinación del concentrado de jugo de caña de azúcar y proteína de suero para demostrar calidad del producto en polvo	(Ruano Uscategui et. al., 2018)

*Nota.* Muestra Investigaciones Recientes sobre la aplicación de secado por aspersión y pulverización en el tratamiento del lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### ***Liofilización***

#### **Conceptualización y/o definiciones**

La liofilización se consideró una técnica que dio inicio para conservar medicamentos que requerían refrigeración, es una tecnología la cual no altera la estructura fisicoquímica del alimento permitiendo una conservación indefinida sin la utilización de una cadena de frío con menos del 15% de humedad y alta estabilidad microbiológica, sus características organolépticas como lo son sabor, olor y textura no se pierden al contrario se intensifican y mantienen sus

características nutricionales intactas. Teniendo en cuenta las características del lactosuero ácido y al ser conservado por medio de la técnica de liofilización se conservan sus microorganismos naturales protegiendo su deterioro y logrando la concentración esperada.

El lactosuero también ha sido sometido a esta técnica la cual permite conservar sus características nutricionales, Kononiuk y Karwowska, (2020) desarrollaron una investigación la cual pretende usar suero ácido liofilizado para contrarrestar la producción de aminas biogénicas (BA) de productos cárnicos.

### **Descripción del proceso**

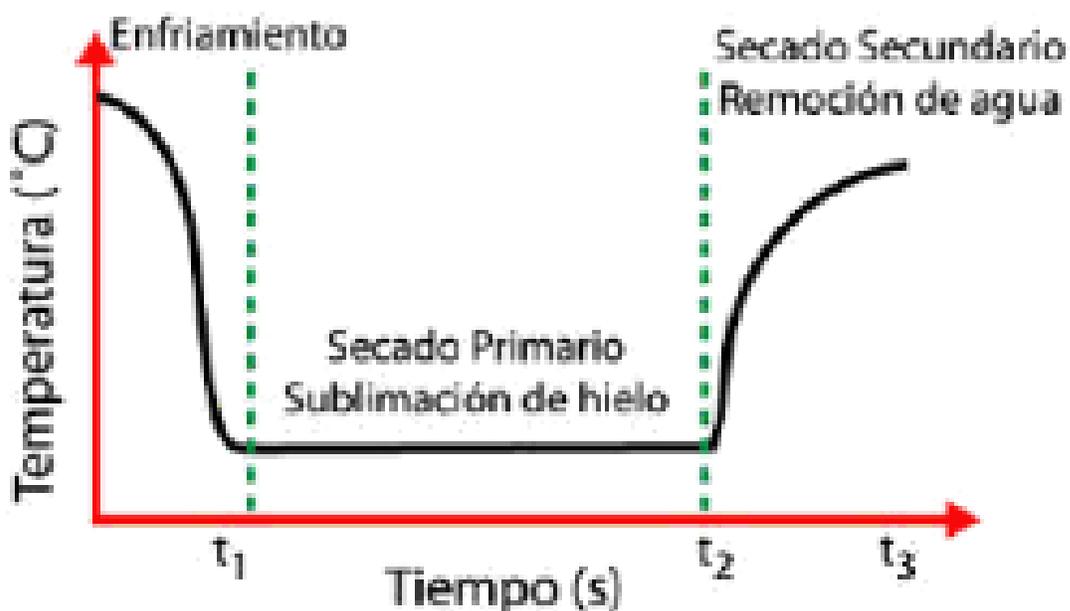
Ramirez Navas, 2006 menciona que para liofilizar un producto es importante tener en cuenta cual es el tipo de producto que se quiere obtener, la composición física y química esto con la finalidad de analizar sus límites de concentración y propiedades como color, conductividad, índice de refracción, turbidez, entre otros. Es importante conocer su contenido de agua por la formación de cristales, en general un conocimiento arduo del producto.

El proceso de liofilización requiere de varias etapas (figura 20):

- Congelación a bajas temperaturas
- Secado por sublimación del hielo (o solamente congelado), generalmente a muy baja presión generado en dos etapas primaria y secundaria de secado
- Almacenamiento del producto seco en condiciones controladas.

**Figura 20**

*Etapas del proceso de liofilización*

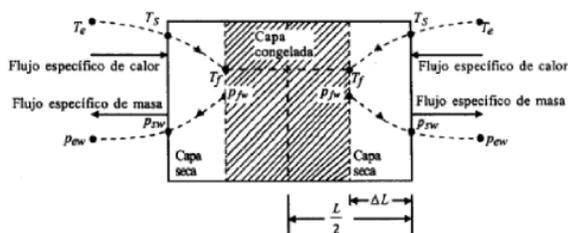


*Nota.* Ilustra etapas del proceso de liofilización tomada de (Ramirez Navas, 2006)

Comúnmente el proceso de liofilización se basa en que los gases que rodean al material suministran a la superficie del sólido el calor de sublimación requerido, luego el calor se transfiere por conducción por medio del material seco hasta la superficie congelada. En la figura 21 se ilustra el modelo de Sandal y colaboradores, este modelo explica que el flujo específico de calor a superficie del material se verifica por convección y una vez el sólido seco por conducción hasta la superficie de sublimación. Los perfiles de temperatura y humedad en el inferior del alimento durante la liofilización dependen de las velocidades de transferencia de masa y calor; el calor se transfiere por medio del frente de sublimación entre las fases seca y congelada del producto. Requiriendo de la fuente de calor la transferencia conseguirá ser por medio de la capa congelada, la capa seca o ambas (Ramirez Navas, 2006)

**Figura 21**

*Modelo para el frente de hielo en retroceso en el secado por congelación*



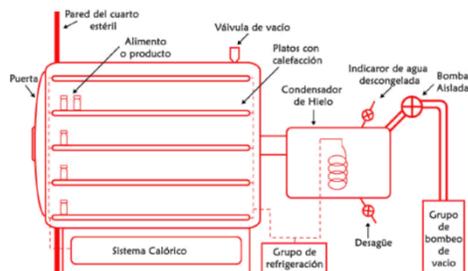
*Nota.* Ilustra Modelo para el frente de hielo en retroceso en el secado por congelación tomada de (Ramírez Navas, 2006).

### Equipo de liofilización

En la figura 22 se ilustra un esquema de liofilizador habitual, con un condensador externo. Este maneja Tres componentes principales: La cámara de secado, el condensador y el sistema de vacío. La función de este equipo es básicamente crear el entorno necesario para el proceso de liofilización. Los equipos de plantas pequeñas y laboratorios constan de las mismas partes representadas en la figura 23 y 24.

**Figura 22**

*Esquema de un equipo de liofilización*



*Nota.* Ilustra el esquema de un equipo de liofilización tomada de (Ramírez Navas, 2006)

Comercialmente se encuentran diferentes tipos de liofilizadores, desde liofilizadores para laboratorios figura 23 y como liofilizadores para una línea completa de producción como se observa en la figura 24.

**Figura 23**

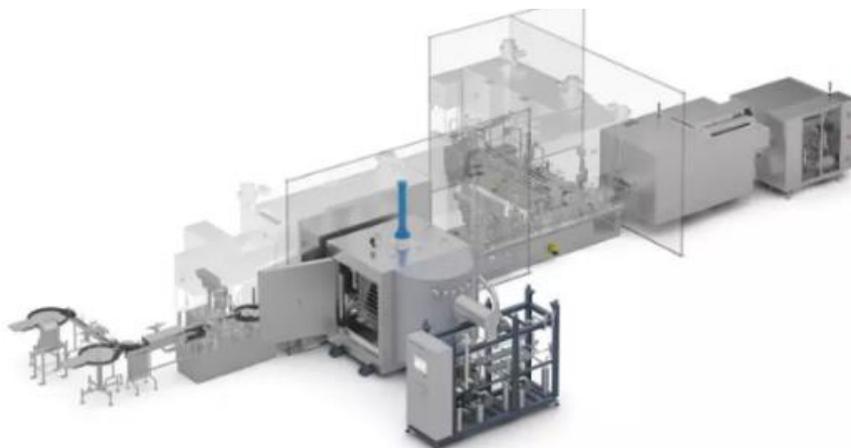
*Modelos de liofilizadores para plantas piloto y laboratorios.*



*Nota.* Representa modelos de liofilizadores para plantas piloto y laboratorios. Tomada de (Company,P. 2021)

**Figura 24**

*Liofilizador en línea completa*



*Nota.* Representa liofilizador en línea completa tomado de (Company,P. 2021)

En la tabla 23 se describe la matriz de operacionalización de variables del proceso de liofilización.

**Tabla 23**

*Matriz de operacionalización variables del proceso de liofilización*

<b>Método</b>	<b>Tipo de Variable</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidad de medida</b>
Liofilización	Independiente	Temperatura de enfriamiento	°C
		Presión	torr
	Dependiente	Velocidad del secado	s
		Tiempo de secado primario y secundario	s

*Nota.* Muestra las operaciones variables sobre la liofilización aplicada como tratamiento al lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigación presentada.

### **Revisión Literaria científica**

Son pocas las revisiones donde se tiene en cuenta la aplicación de esta tecnología para la generación de nuevos productos a partir del lactosuero, tal vez por su alto costo, las investigaciones dónde usan esta técnica analizan muestras de laboratorio con el uso de liofilizadores en plantas laboratorio piloto, esta tecnología requiere de más investigaciones aplicadas al lactosuero para el desarrollo de nuevos productos. Con esta revisión se pretende que el lector se motive a utilizar más esta tecnología sobre el producto y surjan nuevas investigaciones.

La liofilización como método de aprovechamiento del lactosuero se a usado para el desarrollo de materiales encapsulantes utilizando como materia principal el afluente salino, demostrando eficiencias de encapsulación superiores al 76,8% y al 81,4% además mejorando la vida útil de los productos funcionales encapsulados. También se han desarrollado investigaciones donde esta técnica es utilizada para desarrollas a aerogeles que encapsulan aceites manteniendo una integridad, firmeza lo que demuestro un rendimiento significativo para el paso de ingredientes por el tracto digestivo con la protección de los argeles (Obradović et. al., 2022).

Con éxito se desarrollo investigación de un producto en polvo con recubrimiento a partir de diferentes recursos entre ellos proteínas del lactosuero mediante el proceso de liofilización. Obteniendo un 93% de rendimiento solido y un 91 % de solubilidad. El polvo se utilizo para recubrir rebanadas de pastel evaluando la aplicabilidad en productos de panadería, arrojando resultados deseables con mayor elasticidad y menor resistencia en comparación al producto que no se recubrió. Con este estudio se demostró un enfoque novedoso en la tecnología del recubrimiento de alimentos con el producto en polvo de biocompuesto, teniendo un gran potencial en la industria del embalaje por su fácil preparación, ocupando poco espacio durante el almacenamiento y sin conservantes, sin embargo, tendiendo en cuenta que es una investigación reciente se requieren mas estudios sobre su aplicabilidad y practicidad en la industria.

Kononiuk y Karwowska, (2020) exponen una investigación para el uso de lactosuero acido liofilizado como aditivo alimentario para la elaboración de embutidos, sustituyendo a los nitritos, usando el lactosuero en función de este aditivo aprovechando que es rica fuente de proteínas y ácido láctico. Investigaciones que han contemplado el uso del lactosuero como alternativa de nitrito lo han realizado con suero acido liquido con cantidades (5%) que no afectan el procesamiento de carne de res o cerdo. Demostrando que la adición de suero acido en lugar de nitrito, mejora las propiedades del embutido fermentado en seco y aumenta el valor nutritivo al actuar sobre el contenido de hierro hemo y la composición de ácidos grasos.

En la tabla 24 se exponen algunas de las investigaciones mas recientes sobre la aplicación del método de liofilización en el lactosuero y contribuciones que tiene este método en la industria alimentaria.

**Tabla 24***Investigaciones recientes aplicando método de liofilización*

<b>Productos obtenidos, usos o investigaciones.</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Aerogeles	Suero acido	Encapsulación de alimentos	(Obradović et. al., 2022)
Microencapsulación de probióticos	Suero dulce	Preparación de bebidas funcionales a base de suero y gran variedad de alimentos	(Manzocco et al., 2021)
	Suero dulce	Material de recubrimiento para productos de panadería	
Polvos de biocompuestos	Suero dulce	Mayor rendimiento de almacenamiento de aceites	(Erdem & Kaya, 2021)
Coencapsulación de aceites	Suero dulce	Mejoramiento de la seguridad alimentaria a partir de la utilización de suero liofilizado en embutidos.	(Kononiuk y Karwowska, 2020)
Salchichas fermentadas	Suero acido		

*Nota.* Muestra Investigaciones Recientes sobre la aplicación de la liofilización como uso y aprovechamiento del lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### ***Filtración por membranas***

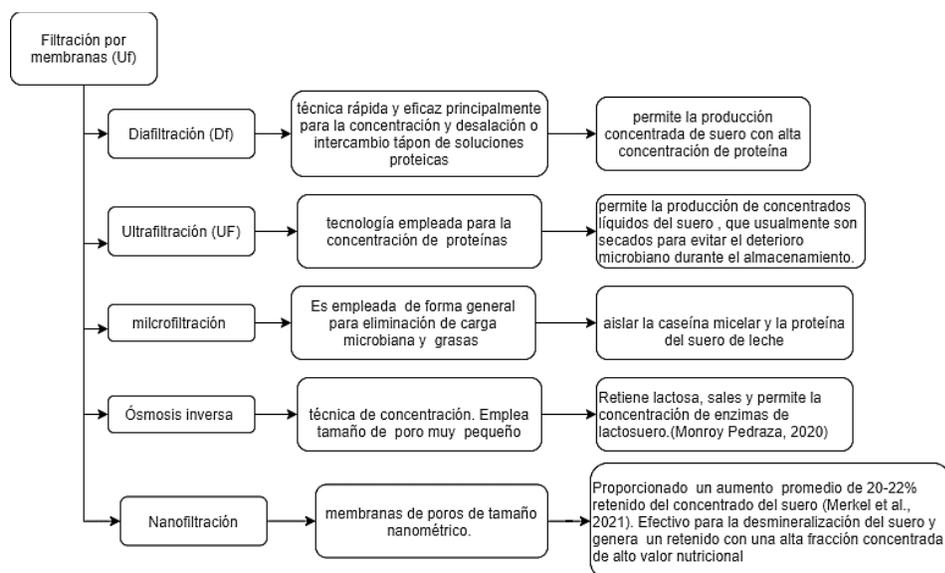
#### **Conceptualización**

A partir de 1970 la industria láctea ha optado por usar varias tecnologías por membranas las cuales permiten el aprovechamiento del lactosuero y de sus componentes. Estas iniciaron con el proceso de ultrafiltración, el cual se desarrolló para la recuperación de proteínas inicialmente con membranas de filtración en espiral alojadas en 4 pulgadas (100mm) y así fue ingresando este proceso al mercado Price, (2018), las siguientes tecnologías creadas a partir de la filtración por membranas tienen como objetivo desarrollar procesos más rentables en la industria láctea por el tratamiento de grandes volúmenes de sueros producidos anualmente, estas tecnologías iniciaron con el fin de mejorar los rendimientos y disminuir las cantidades de residuos generados por la industria láctea.

La figura 25 presenta un diagrama de técnica de filtración por membranas y como se acopla al aprovechamiento del lactosuero

**Figura 25**

*Filtración por membranas.*



*Nota.* Expone la técnica que se han acoplado a la filtración por membranas en el aprovechamiento del lactosuero. Elaboración a partir de los datos de estudio.

Actualmente la aplicación de tecnología de membranas sobre el lactosuero permite la concentración selectiva y tratamientos que permiten obtener productos como suero en polvo, desmineralizado, permeado en polvo, concentrado proteico en suero, suero libre de fagos y purificación de sus proteínas. Lo cual convierte esta tecnología muy atractiva para la industria láctea.

La tecnología de membranas son barreras selectivas que permiten la purificación de las corrientes por medio del empleo efectivo de una fuerza guía, para las tecnologías de microfiltración, ultrafiltración y osmosis inversa esta fuerza es la guía de la diferencia de presión a través de la membrana. La separación de membranas generalmente está establecida por tres diferentes corrientes, alimentación ( $F_A$ ), retenido ( $F_R$ ) y permeado ( $F_P$ )

Estos tipos de tecnologías convencionales son conocidas como tipos de filtración con membranas, en la siguiente tabla 25 se presenta una correlación de las características que las diferencian.

**Tabla 25**

*Correlación de diferentes tipos de filtración*

<b>Membrana</b>	<b>Osmosis Inversa Asimétrica</b>	<b>Nanofiltración Asimétrica</b>	<b>Ultrafiltración Asimétrica</b>	<b>Microfiltración Asimétrica / Simétrica</b>
Grueso	150 um	150um	150-250um	0,5-5um
Capa superficial	1 um	1 um	1 um	1 um
Tamaño de poro	0,002 um	0,002 um	0,02um-0,2um	0,2-5 um
Rechazos	Compuesto de alto peso moléculas; Compuesto de bajo peso molecular; Cloruro y Sodio; Glucosa; Aminoácidos; Proteínas	Compuestos de alto peso molecular; Mono, di, y oligosacáridos; Aniones polivalentes.	Macromoléculas; Proteínas; Polisacáridos; Virus.	Partículas; Barro; Bacterias
Aplicación	Recuperación de proteínas, lactosa y concentración de enzimas, separa sales del líquido.	indización del suero permite pasar materiales de bajo peso molecular (agua, iones y lactosa). Retiene moléculas de medio peso molecular también	concentración de proteínas del lactosuero y normalización de proteína de la leche destinada elaboración de yogurt, queso y otros productos lácteos. Retiene macromoléculas	Reduce la población de bacterias y el contenido graso del lactosuero.
Materiales de membrana	Acetato de celulosa capa delgada	Acetato de celulosa capa delgada	Cerámica Fluoruro de polivinilo	Cerámica Fluoruro de polivinilo Polipropileno
Módulo de membrana	Tubular, espiral wound plante and frame	Tubular, espiral wound plante and frame	Tubular, hollow fiber spiral wound plate and frame	Tubular, hollow fiber spiral wound plate and frame
Presión (bar)	15-150	5,35	1,10	2

*Nota.* Presenta correlación de diferentes tipos de filtración tomada de (Bermúdez Martínez, 2019).

### **Diafiltración (Df).**

Modificación de la ultrafiltración en la cual se adiciona agua a la alimentación con el fin de facilitar el permeado de algunos componentes por medio de la membrana. Comúnmente utilizada en la industria láctea para elaboración de productos sin hidratos de carbono

### **La ultrafiltración.**

La ultrafiltración (Uf) se caracteriza por ser un proceso que tiene un punto de corte molecular de 0.45 a 300k. Da para parámetros de poro de 5 a 100 nm, la presión aplicada en este proceso generalmente es mayor a 1MPa. Para separar partículas con corte molecular desde 1 a 300K. Los sólidos suspendidos de alto peso molecular son retenidos mientras el agua y los componentes de bajo peso molecular pasan a través de la membrana (Nolasco, 2019). Es una tecnología que ha sido usada para la concentración de las proteínas del suero de manera selectiva sin afectar la fracción del soluto (Steinhauer et al., 2015), esto permite la producción de concentrados líquidos del suero, que usualmente son secados para evitar el deterioro microbiano durante el almacenamiento. Las membranas tienen un poro que varía de 10 a 100  $\mu\text{m}$  con presión de procesamiento de 0,1 a 1,0 Mpa. (Casanova et. al., 2021).

### **Microfiltración.**

La microfiltración es un proceso incorporado en la industria láctea para aislar la caseína micelar y la proteína del suero de leche, la microfiltración tiene el tamaño de poro más grande (0,1 -10  $\mu\text{m}$ ) y la presión de procesamiento más baja (0,01-0,02 Mpa).

Esta se empezó aplicando como pretratamiento para la eliminación de carga microbiana y actualmente es utilizada para la eliminación de grasas, glóbulos grandes 10 $\mu\text{m}$  y la separación de caseína (50-500 $\mu\text{m}$ ) y proteína del suero (3-6nm), lactosa (1nm), minerales y agua (Carter et al., 2021) (Casanova et. al., 2021).

### **Osmosis Inversa.**

Es considerada una técnica de concentración y por lo tanto el tamaño de poro es más pequeño manejando una presión de procesamiento más alta (3.0 -5.0), este proceso retiene lactosa, sales y permite la concentración de enzimas de lactosuero.(Monroy Pedraza, 2020).

### **Nanofiltración**

La nanofiltración es una tecnología que utiliza membranas de poros de tamaño nanométrico y hace transferencia efectiva de iones monovalentes como  $\text{Na}^+$   $\text{k}^+$  y  $\text{Cl}^-$  con un contenido promedio de 20-22% retenido del concentrado del suero (Merkel et al., 2021).

Teniendo en cuenta el tamaño de poro de 1 a 10um y la presión de procesamiento más baja de 15 a 3,0 Mpa se considera como técnica de fraccionamiento y se rechazan componentes además del agua y sales bajas (Casanova et al., 2021)

### **Descripción del proceso**

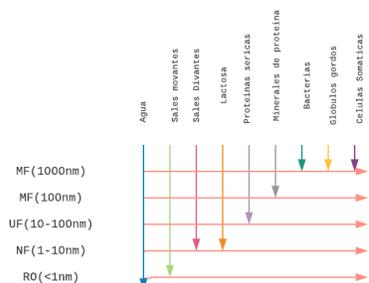
La tecnología de membranas engloba a todos los procesos de separación donde se emplean membranas que actúan como un filtro separando en dos fases y admitiendo el transporte selectivo de componentes de una fase a otra; la labor que atraviesa recibe el nombre de permeado que es líquido y fracción que retiene el rechazo que son los sólidos suspendidos.

Posada David, (2016) expone que el proceso de separación de membranas se fundamenta en la permeabilidad selectiva de un componente o varios de un líquido a través de una membrana y un gradiente de presión hidrostática.

La tecnología de membranas se basa en la diferencia de pesos moleculares y tamaños de partícula, concretamente en los diferentes tamaños de poro que tienen las membranas, que retienen diferentes tipos de sólidos suspendidos y otras sustancias (Hermosa, 2021). En la Figura 26 se puede observar una clasificación de componentes aptos y descalcificados según el tamaño de poros por membranas.

## Figura 26

### Componentes lácteos

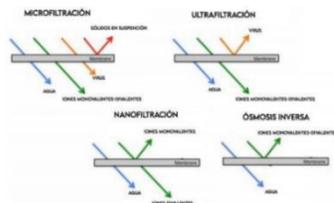


*Nota.* Muestra los componentes lácteos aptos y descalcificados según el tamaño de poros de las membranas de Mf: Microfiltración Nf: Nanofiltración, RO; Osmosis Inversa, uf: Ultrafiltración. Adaptada de (Carter et. al., 2021)

Dependiendo del tamaño de poro que tengan la membrana retiene diferentes tipos de sólidos suspendidos y otras sustancias, en la figura 27 se puede observar una clasificación de los procesos que utilizan las membranas y diferencias que existen en cada proceso. Interpretando con las flechas las sustancias que atraviesan o no la membrana.

## Figura 27

### Clasificación de procesos que utilizan membranas.

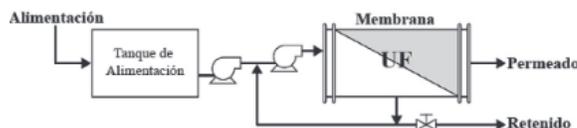


*Nota.* Muestra la clasificación de procesos que utilizan membranas. Se pueden observar las diferencias que existen en cada proceso. Tomado de (Hermosa, 2021).

El suero tiene como característica los diferentes tamaños de las moléculas que lo componen las cuales facilitan la filtración y el rescate de componentes de este coproducto, sin que se someta a modificaciones. La filtración es esencial dado que su separación permite retener partículas de grasa, lactosa, proteínas y otros residuos presentes en el suero (Hermosa, 2021). La obtención de proteínas y péptidos puede lograrse mediante la separación de sus solutos disueltos por medio de una membrana de UF (Ultrafiltración), en la figura 28 se muestra un diagrama general de flujo de UF aplicada al lactosuero, observándose que el permeado se retira continuamente y parte del retenido es recirculado interminablemente.

### Figura 28

#### *Montaje sistema de Ultrafiltración (UF)*



*Nota.* Muestra un montaje de un sistema de Ultrafiltración (UF) diseñado parcialmente recirculado. Tomado de (Ramírez Navas et. al., 2018)

En la tabla 26 se relacionan la operacionalización de variables del proceso de filtración por membranas.

### Tabla 26

#### *Variables de operacionalización proceso de filtración por membranas*

Método	Tipo de Variable	Variable	Unidad de medida
<b>Filtración por membranas</b>	Independiente	Tiempo	Min
		Temperatura	°C
		Presión	psi
		Flujo de permeado	mL/min

Método	Tipo de Variable	Variable	Unidad de medida
	Dependiente		LMH
		Volumen del permeado	Kg
		Volumen del retenido	Kg
		Velocidad del retenido	LMH

*Nota.* Muestra operaciones variables sobre la aplicación de filtración por membranas aplicadas en el tratamiento del lactosuero (LMH litros por metro cuadrado por hora). Elaboración propia a partir de varios autores.

### **Revisión Literaria Científica**

Posada David, 2016 expone que una membrana se puede considerar como una barrera selectiva, que permite la transferencia de determinados componentes de un medio al otro a través de ella y evita restringir el paso a otros. El transporte de componentes a través de la membrana se da por la aplicación de una fuerza impulsadora influenciada por gradientes de concentración, presión, temperatura o potencial eléctrico. Destacando la nanofiltración como tecnología de membranas aplicada en la purificación y tratamiento de aguas residuales industriales y manejo del lactosuero producto del procesamiento de derivados lácteos como quesos, destacando que favorece la eliminación o recuperación de sustancias orgánicas de alto peso molecular, como proteínas solubles, sacarosa y lactosa y sales como NaCl y KCl.

Michel et. al.,( 2021) Describe la importancia de la filtración del suero para su reutilización en nuevos productos (Sueros en polvo, cremas de suero y aislados de proteína) mejorando rendimientos en las plantas y aprovechando valor nutritivo de este coproducto. Sin embargo, expone la importancia de que este sea libre de fagos, minimizando el riesgo de fallas de fermentación de bioprocesos. Propone la utilización de la filtración de membrana de flujo cruzado combinándola con un tratamiento térmico, concluyendo que a partir de una reducción de 4 unidades logarítmicas mediante filtración de membrana de flujo cruzado el número de bacteriófagos podría reducirse a 5 unidades logarítmicas, mediante un segundo método de

inactivación, considerando que aún se deben desarrollar más investigaciones para combinar los tratamientos de filtración y tratamiento térmico.

La técnica de filtración de membranas es una técnica que se viene desarrollando desde hace varios años, adaptando diferentes tipos de tecnologías, en la tabla 27 se exponen diferentes investigaciones que han surgido sobre las adaptaciones técnicas que tiene la filtración por membranas en el lactosuero.

**Tabla 27**

*Investigaciones recientes del lactosuero aplicando método de filtración por membranas*

<b>Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Concentrado de proteínas de suero	Suero Dulce	Mejorar eficiencia de las proteínas del suero por medio de la aplicación de ultrafiltración.	(Damar et. al., 2020)
Suero libre de Bacteriófagos	Suero	Optimización de suero para la generación de subproductos de alta calidad.	(Michel et. al., 2021)
Caseína derivada de la microfiltración y proteínas del suero	Suero	Ampliar el conocimiento del estado actual de ingredientes proteicos para el uso en aplicaciones de alimentos y bebidas.	(Carter et. al., 2021)
Purificación de lactoferrina de suero dulce	Suero dulce	Recuperación de la pureza de la lactoferrina para el aprovechamiento de sus propiedades (nutricionales, antimicrobianas, antioxidantes y antiinflamatorias)	(K. S. Maciel et. al., 2020)
Rendimiento del lactosuero por medio de un dispositivo de filtración	Suero Dulce	Predecir el rendimiento del lactosuero usando un dispositivo de filtración que permita conocer el rendimiento del lactosuero por medio de una muestra inicial.	(Haribabu et al., 2020)
Eliminación de DBO	Suero acido	Aplicación de	(Dereli et. al., 2019)

<b>Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
aplicada en el lactosuero		tratamiento del lactosuero mediante un biorreactor de membrana.	
Concentración de lactosuero a escala piloto	Suero	Evaluar el rendimiento de filtración por osmosis inversa y proporcionar método abreviado a escala piloto para la concentración del lactosuero	(Artemi et. al., 2020)

*Nota.* Muestra las investigaciones más recientes sobre la filtración por membranas aplicadas como tratamiento al lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

## **Técnicas emergentes empleadas para la recuperación de los constituyentes del lactosuero y/o para su aprovechamiento**

### ***Ultrasonido y Cavitación***

#### **Conceptualizaciones o definiciones**

La tecnología de ultrasonido es conocida desde hace varios años por su aplicación para diagnóstico médico y procesos de inspección industrial. A altas frecuencias y bajo potencial se puede utilizar como herramienta analítica y de diagnóstico, y a muy alta potencia puede ayudar con el procesamiento técnico. En todo ámbito de sus aplicaciones el ultrasonido se genera de la misma manera.

El ultrasonido es un método propuesto recientemente para la reducción del ensuciamiento de membranas. El paso de ultrasonido conduce a la cavitación, que es el inicio del crecimiento y el colapso de microburbujas en el medio líquido liberando una gran magnitud de energía al colapsar. Normalmente el ultrasonido de baja frecuencia (~20 kHz) genera cizallamiento dominante, circulación de líquido y turbulencia, este es el adecuado para la industria láctea y

para la separación de membranas, dado que los efectos físicos son predominantemente necesarios. El pretratamiento con ultrasonido en el suero mejora la estabilidad térmica de las soluciones y concentrados de proteína. (Prabhuzantye et. al., 2019)

Cheng et. al., (2019) narra que la tecnología de ultrasonido es una de las tecnologías emergentes no térmicas que se utilizan para procesar físicamente los alimentos. El fenómeno de cavitación de la tecnología de ultrasonido le permite generar una fuerte tensión de corte y fuerza mecánica sobre las proteínas. Su eficiencia como herramienta para modificar la estructura molecular de las proteínas alimentarias ha sido investigada obteniendo como resultado cambios en la estructura secundaria.

Teniendo en cuenta los avances tecnológicos la industria alimentaria se encuentra en transición del procesamiento convencional a tecnologías de procesamiento emergentes. La utilización de ultrasonidos se ha examinado ampliamente en etapas de pretratamiento para cambiar las materias primas mediante el aumento de la tasa de extracción y mejora de las propiedades fisicoquímicas de los alimentos. Los efectos de los ultrasonidos en los sistemas líquidos están relacionados principalmente con el fenómeno de cavitación acústica, donde las burbujas de cavitación se forman rápidamente y violentamente colapsando durante la sonicación. También se describe el impacto que puede tener el ultrasonido en las propiedades funcionales y la estructura secundaria de las proteínas del suero. (Zhao et. al., 2020a).

Meng et. al., (2021) menciona que el ultrasonido es una onda acústica con frecuencia superior aproximadamente a 20kHz, que está por encima del rango de detección auditiva humana. Clasificándose en dos tipos ultrasonido de alta intensidad de baja frecuencia (20-100 kHz) y ultrasonido de alta frecuencia (100kHz-MHz) de baja intensidad, este utilizado

comúnmente para instrumentos analíticos para la evacuación de las propiedades de alimentos y el ultrasonido de alta intensidad empleado para alterar las propiedades fisicoquímicas de los alimentos.

### **Descripción del proceso**

La generación de Ultrasonido se basa en la deformación elástica de materiales ferroeléctricos, dentro de un campo eléctrico de alta frecuencia y es causada por la mutua atracción de moléculas polarizadas en el campo. Hacia la polarización de las moléculas se debe transmitir una frecuencia alta mediante dos electrodos hasta el material ferroeléctrico. Luego se obtiene la conversión a oscilación mecánica y el sonido puede ser transmitido a un amplificador para finalmente transmitirse al medio. El ultrasonido es provocado por una corriente eléctrica que se transforma mediante transductores, los más utilizados son transductores conducidos por líquidos, de magneto rígido y piezoeléctricos. (Robles y Ochoa, 2012)

Mizrach, (2008) narra que la energía ultrasónica se propagara a través de un material hasta que la onda de sonido encuentre un cambio de impedancia, lo que significa que hay algunos cambios en la densidad del material o/ y la velocidad de onda de sonido. Esto puede ocurrir dentro del material cuando hay un vacío o un reflector, ya que parte de la energía del sonido se refleja y de esto depende el cambio de impedancia y tamaño del reflector.

Si no hay reflectores internos la onda continua hasta que alcance el lado más alejado del objeto de la prueba o hasta que la energía este totalmente atenuada. La atenuación de energía del haz de ultrasonidos y la velocidad de propagación de la onda dependen de la naturaleza del material y su estructura. La mayoría de los cambios físicos o químicos en el material provocan

cambios de atenuación y la velocidad del has propagado. En la mayoría de los materiales industriales sólidos y líquidos la energía ultrasónica se propaga fácilmente, lo que facilita el diagnostico o detención.

En la tabla 28 se mencionan las operacionalizaciones de variables que se utilizan en el proceso de ultrasonido.

**Tabla 28**

*Matriz operacionalización variables de proceso de ultrasonido.*

Método	Tipo de Variable	Variable	Unidad de medida
Ultrasonido	Independiente	Frecuencia Potencia Temperatura Modificación de propiedades funcionales	kHz W °C % de solubilidad % de viscosidad Capacidad Emulsificante, etc.
	Dependiente	Reducción bacteriana Reducción tamaño de partículas Modificaciones fisicoquímicas	Log N/No % de solidos % protefna % de lactosa % de grasa Densidad pH %Solidos totales

*Nota.* Muestra las operaciones variables sobre proceso de ultrasonido aplicado como tratamiento al lactosuero. Ultrasonido en los procesos de conservación de alimentos líquidos, tesis que para optar el grado de maestría en ciencias en desarrollo sostenible presenta Irma Magaly Rivas Serna.

### **Revisión literaria Científica**

En la actualidad se encuentran varias investigaciones donde el uso del ultrasonido como pretratamiento aplicado al lactosuero busca mejorar la estructura de sus proteínas para el mejoramiento de su uso en la industria alimentaria Gamlath et. al., (2020) expone la implementación de tecnologías emergentes para el mejoramiento de las características fisicoquímicas de las proteínas para el aprovechamiento de la proteína de suero donde se destaca

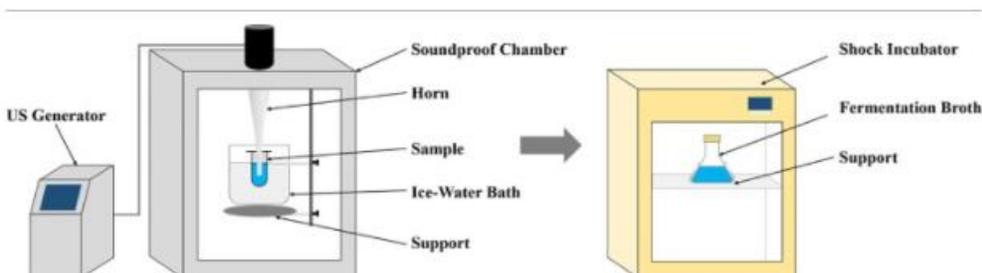
su alto valor nutritivo y propiedades funcionales como las de formación de espuma, emulsificación, gelificación y aglutinantes del sabor.

Cruz Diaz et. al.,( 2019) expone en la investigación que busca la caracterización de películas comestibles a partir de la proteína del suero, mejorando su estructura mediante el tratamiento con ultrasonido modificando algunas propiedades y aumentando la resistencia a la perforación, en esta investigación se resalta el uso de las proteínas del suero para usar películas adecuadas en el envasado de alimentos, resaltando las excelentes propiedades de barrera al oxígeno, se han aplicado a la fabricación de laminados plásticos con características mejoradas. Describe que los ultrasonidos de alta potencia (20-100 kHz) pueden inducir modificaciones químicas en los alimentos debido principalmente al proceso de cavitación, donde también se encuentran involucrados otros efectos mecánicos, físicos y químicos.

Zhao et. al., (2020b) realizaron estudio sobre la reducción de antigenicidad de las proteínas del suero mediante pretratamiento ultrasónico y fermentación microbiana. La utilización de ultrasonidos se ha examinado ampliamente en una etapa del pretratamiento para cambiar las materias primas mediante el aumento de la tasa de extracción y la mejora de las propiedades fisicoquímicas de los alimentos. El ultrasonido se emplea para mejorar la funcionalidad de la proteína y acelerar la enzimólisis de la proteína, el ultrasonido también puede tener un impacto en las propiedades funcionales y la estructura secundaria de las proteínas del suero. Los estudios sobre efectos de la combinación de sonicación y fermentación de levadura para reducir la sensibilidad de las proteínas del suero aún son limitados, el diagrama de diseño experimental usado en esa investigación se representa en la figura 29.

**Figura 29**

Diagrama experimental del tratamiento de ultrasonido y fermentación microbiana



*Nota.* Ilustra Diagrama experimental del tratamiento de ultrasonido y fermentación microbiana sobre las proteínas del suero. Tomada de (W. Zhao et al., 2020a)

Siendo: Us Generator: Generador; Souadproof Chamber: Cámara insonorizada; Horn: Bocina; Sample: Muestra; Ice-Water Batch: Lote de agua helada; support: apoyo; Shock Incubador: Incubadora de choque; Fermentation Broth: Caldo de Fermentación.

El ultrasonido es recientemente utilizado como pretratamiento a diversos procesos, que corresponde a una tecnología emergente que compite con las tecnologías convencionales en el procesamiento y tratamiento de lactosuero. En la tabla 29 se presentan las investigaciones más recientes que involucran el ultrasonido con proceso y tratamiento del lactosuero.

**Tabla 29**

*Investigaciones recientes aplicando método de ultrasonido*

Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/ investigaciones	Tipo de suero	Aplicaciones en la industria de alimentos	Referencia
Reducir antigenicidad de proteínas del suero	Suero dulce	Mejorar la funcionalidad de la proteína de suero en la industria	(W. Zhao et. al., 2020a)
	Suero dulce	Uso del lactosuero sobre la conservación de kappa carragenina Por medio del tratamiento de ultrasonido aplicado en el lactosuero	(Vargas et. al., 2021)
Conservación compleja con kappa carragenina			

<b>Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/ investigaciones</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Potenciación y recuperación de proteínas del suero	Suero dulce	Proceso mejorado para una mayor recuperación de productos de mejor calidad a partir del suero	(Prabhuzantye et. al., 2019)
Recuperación intensificada de lactosa	Suero dulce	Intensificación de la ultrafiltración aplicada para la recuperación de lactosa del suero por medio de ultrasonidos con beneficios operativos basados en la reducción de incrustaciones	(Khaire et. al., 2019)
Pretratamiento sobre proteínas Estructurales, fisicoquímicas, reológicas y de gelificación	Suero dulce	Mejoramiento de propiedades reológicas y de gelificación de las proteínas del suero	(Meng, Liang, et. al., 2021)
Mejorar la estructura de la proteína de suero	Suero dulce	Modificación de la estructura de la proteína de suero a través de tecnología de ultrasonido de doble frecuencia para mejorar las propiedades emulsificantes y reducir la viscosidad de la proteína de suero	(Cheng et. al., 2019)
Producción de nuevos péptidos biológicamente activos	Suero dulce	Generación de compuestos activos y proporcionar aminoácidos esenciales	(Lorenzetti et. al., 2020)
Incorporación de agregados de proteína de suero	Suero acido	Producción de agregados de proteína de suero.	(Gamlath et al.,2020)
Caracterización de películas comestibles a partir de proteínas del suero	Suero acido	Aplicación en envasado en lonchas de queso a partir de películas proteínas de suero tratadas con ultrasonido	(Gamlath et. al., 2020)
Modificación ultrasónica del aislado de proteína de suero	Suero Dulce	Desarrollo de nuevos productos a partir de proteínas del suero con estructuras modificadas por tratamiento de ultrasonido	(Meng, Liang, et. al., 2021)

*Nota.* Muestra las investigaciones más recientes sobre el proceso de ultrasonido aplicado como tratamiento al lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### *Calentamiento óhmico (OH)*

Coimbra et. al., (2020) Describe que el calentamiento óhmico es un ejemplo de una tecnología emergente que ha demostrado ser eficaz en la inactivación microbiana, permitiendo un calentamiento uniforme del producto, acortando tiempos de proceso y optimizando la logística industrial. El calentamiento óhmico contribuye con la seguridad del producto, proporcionando inactivación microbiana debido a la combinación del efecto térmico y el efecto no térmico, causado por la presencia del campo eléctrico llamado electroporación.

El calentamiento óhmico es una tecnología térmica la cual se encuentra encargada de garantizar la seguridad alimentaria del producto; una corriente eléctrica alterna pasa a través de un alimento conductor de electricidad, la energía eléctrica suministrada se libera dentro de los alimentos en forma de calor. Por tal motivo, el calor se genera internamente por efecto de joule evitando un proceso de transferencia. (Rodríguez, 2021)

El Calentamiento óhmico considerado como tratamiento, es utilizado en la industria láctea que consiste en someter el alimento a la acción de una corriente eléctrica con frecuencia aproximada de 50Hz, originando un aumento de Temperatura. Fue desarrollado para el tratamiento de productos en continuo especialmente para alimentos particulados dado que presenta una considerable capacidad de penetración lo que evita el sobre calentamiento de superficies (Farmacia, 2005).

(Pereira et. al., 2017) indica que el calentamiento óhmico es un ejemplo de una tecnología emergente exitosa en el procesamiento de alimentos, desde principios del siglo XX hasta la actualidad. Aprovechando la evolución de la tecnología y acumulando conocimientos fundamentales aplicados durante décadas.

Ferreira et. al., 2021 indica que calentamiento óhmico es una tecnología alternativa al procesamiento térmico de alimentos con un gran potencial y aplicabilidad en la industria de alimentos. La tecnología está basada en el paso de la corriente eléctrica a través de los alimentos, generando calor interno debido a la resistencia eléctrica impuesta de acuerdo con efecto de joule. Se distingue de otros métodos de calentamiento eléctrico, por la presencia de electrodos en contacto directo con el alimento, por la frecuencia aplicada (50 Hz a pocos MHz), forma de onda utilizada (Sinusoidales o cuadradas) y los campos eléctricos moderados. La principal ventaja del calentamiento óhmico es el calentamiento rápido y homogéneo, ya que esta tecnología disipa la energía directamente dentro del material alimenticio y no depende de la conducción o convección, como un proceso convencional de intercambio de calor.

Coimbra et. al., (2020) describe que los estudios que involucran al calentamiento óhmico sobre las propiedades sensoriales de los alimentos se limitan a las pruebas hedónicas, por consiguiente, es necesario probar y validar nuevos enfoques sensoriales para evaluar los efectos de las tecnologías emergentes como el OH, sobre las propiedades sensoriales y aceptación de los alimentos.

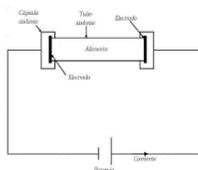
### **Descripción del proceso**

De acuerdo a Ramos, (2015) el proceso del calentamiento óhmico es básicamente un tratamiento térmico que se obtiene haciendo pasar una corriente eléctrica a través de ellos. Como los alimentos en función de la densidad, tamaño y forma, presentan una resistencia al paso de la corriente eléctrica, el efecto es el calentamiento del interior de estos. La velocidad en la que se genera el calor dentro de los alimentos tratados es directamente proporcional a la intensidad de la corriente eléctrica y a la resistencia que ofrece el alimento al paso de dicha corriente. Una de las ventajas de la aplicación de este método es que los alimentos tratados solo experimentan un

intenso calentamiento en su interior y nunca en su superficie de contacto lo que facilita su manipulación. Otras de sus ventajas son las de rapidez y mayor penetración de la corriente eléctrica en los alimentos lo que evita los sobrecalentamientos. Esto hace que el calentamiento sea un procedimiento apto para alimentos ricos en sales minerales y proteínas como el suero. En la figura 30 se ilustra el esquema del procedimiento del calentamiento óhmico.

### Figura 30

*Diagrama de Calentamiento óhmico*



*Nota.* Ilustra Diagrama del procedimiento del Calentamiento óhmico. Tomada de (Ramos Robles, 2015)

En la tabla 30 se pueden observar matriz de operacionalización de las variables del proceso utilizadas en la técnica de calentamiento óhmico.

### Tabla 30

*Variables de operacionalización proceso de calentamiento óhmico*

Método	Tipo de Variable	Variable	Unidad de medida
Calentamiento óhmico	Independiente	Fuerza del campo eléctrico	V/cm
		Frecuencia	KHz
		Temperatura	°C
	Dependiente	Reducción bacteriana	Log N/No
		Modificación de propiedades funcionales	% de solubilidad
			% de viscosidad
Modificaciones fisicoquímicas	Capacidad Emulsificante, etc.		
		% proteína	
		% de lactosa	
		% de grasa	
		Densidad	
		pH	
		%Sólidos totales	

*Nota.* Muestra las operaciones variables sobre el proceso de calentamiento óhmico aplicado como tratamiento al lactosuero. (Chiriguya, 2017).

## **Revisión literaria científica**

El calentamiento óhmico es una de las tecnologías emergentes más interesantes para la industria láctea, proporcionando un calentamiento rápido y uniforme minimizando la generación de compuestos de sabores desagradables y proporcionando cambios menores en los nutrientes garantizando la calidad microbiológica del producto.

Cappato et. al., (2017) y Pires et. al., (2021) consideran que el OH es una tecnología alternativa que tiene muchas ventajas en comparación con las convencionales, ejemplo de esto es su calentamiento uniforme por ende tiene menor generación de sabores desagradables y cambios menores en las características sensoriales y nutritivas del producto. Sus tiempos de aplicación son más cortos en comparación a la aplicación de otras tecnologías.

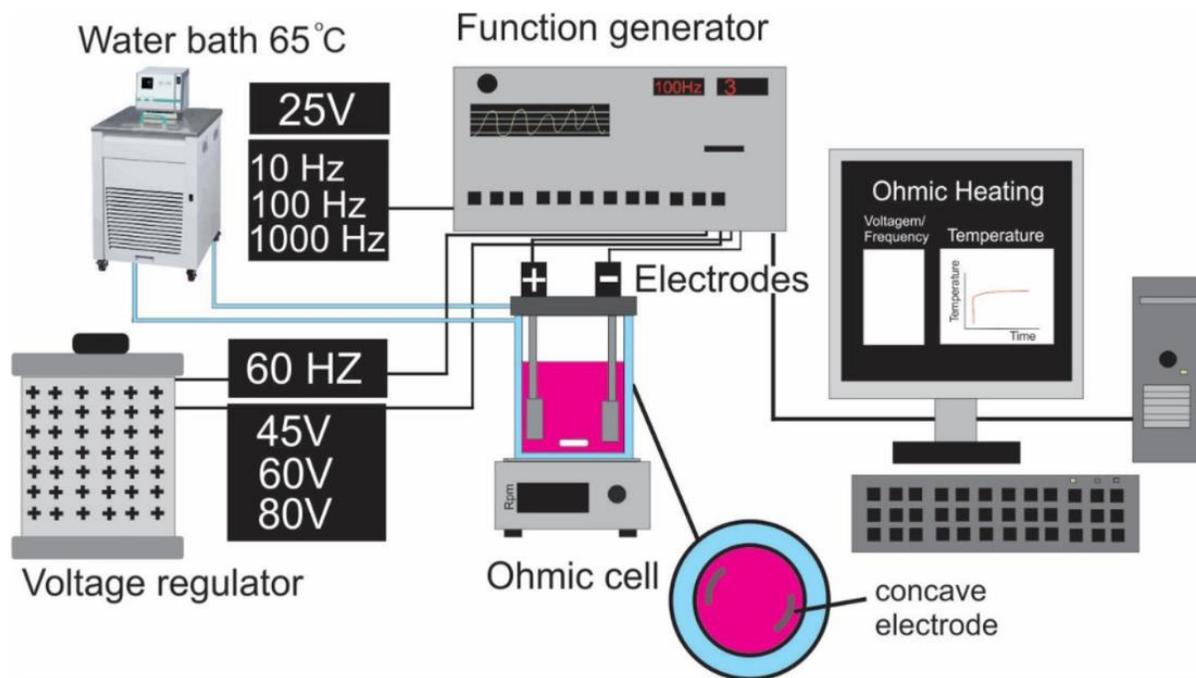
Estudios recientes han demostrado que el calentamiento óhmico tiene gran potencial para la aplicación del suero, con menor desnaturalización de proteínas y una mejora en la calidad del producto. Esta se presenta como una gran puesta innovadora la cual percibe nuevos productos funcionales conservando las características fisicoquímicas y sensoriales. El calentamiento óhmico es una representación tecnológica potencial para ser aplicada a la industria láctea. Considerando la importancia de las tecnologías emergentes en el procesamiento de alimentos. Estudios realizados demuestran que cuando se involucra OH y productos lácteos, se han obtenido resultados interesantes, los cuales confirman su capacidad para la pasteurización y aumento de bioactividad de quesos, bebidas a base de leche y formulas infantiles.(Coimbra et. al., 2020b)

Ferreira et. al., (2019) expone al calentamiento óhmico como tecnología de procesamiento emergente reconocida que tiene un potencial examinado para controlar y mejorar la funcionalidad de las proteínas debido a su capacidad para influir en las características

estructurales. Tanto la estabilidad del electrodo como los cambios estructurales de la proteína están relacionados con los parámetros operativos de campo eléctrico como voltaje, corriente o frecuencia. Siendo parámetros decisivos en la aparición y extensión de los fenómenos electroquímicos y en los mecanismos de acción del campo eléctrico sobre la estructura proteica. La influencia de diferentes materiales de electrodos durante el calentamiento óhmico a diferentes frecuencias y sus impactos en los aspectos estructurales de la proteína.

El calentamiento óhmico es una técnica muy efectiva para el procesamiento del suero jugando un papel importante para cumplir con los parámetros de calidad con efectos positivos en sus características reológicas, microscópicas, sensoriales y movilidad del agua en el producto procesado. La intensidad del campo eléctrico debe estar entre 4 y 5, lo que proporciona una gran generación de péptidos bioactivos. Las muestras estudiadas tuvieron pocos cambios en sus características por consiguiente demostró que es una tecnología muy eficiente para el procesamiento de suero dulce, esta investigación se desarrolló con el fin de determinar que el calentamiento óhmico es una tecnología con gran potencial sobre la aplicación del tratamiento del suero (Costa et al., 2018)

Ferreira et. al., (2019) Desarrollo un estudio para la generación de bebida de suero sabor a Frambuesa donde utilizaron una configuración de calentamiento óhmico (figura 31) que constaba de una fuente de alimentación, un transformador variable que usa una computadora para almacenar y monitorear los datos.

**Figura 31***Configuración de Calentamiento óhmico*

*Nota:* Muestra configuración de calentamiento óhmico siendo Water Bath: Baño de agua; voltage regulator: regulador de voltaje; function generator: generador de funciones; electrodos: electrodos; ohmic cell: celda óhmica; concave electrode: electrodo cóncavo; Ohmic Heating: Calentamiento óhmico .Tomada de Ferreira et al., (2019).

En la tabla 31 se describen algunas de las últimas investigaciones relacionadas con la técnica de aplicación del calentamiento óhmico sobre el uso y tratamiento del lactosuero para la obtención de nuevos productos.

**Tabla 31***Investigaciones recientes aplicando método de calentamiento óhmico*

<b>Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/ investigaciones</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Bebidas lácteas de suero tratadas con calentamiento óhmico una innovación	Suero dulce	Determinar atributos sensoriales en la aplicación de tecnologías emergentes	(Coimbra et. al., 2020a)

<b>Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/ investigaciones</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Efectos del calentamiento óhmico es aspectos estructurales de las proteínas del suero	Suero dulce	Garantizar niveles de seguridad respecto a problemas de toxicidad por metales	(S. Ferreira et. al., 2021)
Proceso de pasteurización del lactosuero	Suero dulce	Tecnología potencial para la aplicación del procesamiento del lactosuero	(Costa et. al., 2018b)
Bebida de suero con sabor a acerola		Uso de tecnologías emergentes como el calentamiento óhmico en el proceso de bebidas a base de lactosuero	(Leandro P. Cappato et. al., 2018)
Bebida de suero con sabor a frambuesa	Suero Dulce	Eficiencia del calentamiento óhmico sobre la bebida de suero sabor a frambuesa.	(M. V. S. Ferreira et. al., 2019)
Alimentos Lácteos con probióticos		Productos alimenticios más saludables y desarrollo de productos probióticos utilizando tecnologías de OH	(Ricardo Nuno Pereira et. al., 2018)
Hidrogeles de proteína del suero		Nuevos métodos para la producción de hidrogeles de proteínas del suero ricos en hierro	(Ricardo N. Pereira et. al., 2017)

*Nota.* Muestra las investigaciones más recientes sobre el proceso de calentamiento óhmico aplicado como tratamiento al lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### ***Fluidos supercríticos***

#### **Conceptualización**

Ghosh y Chandra Pradhan, (2021) expone que esta técnica es utilizada desde 1882, conocida como “tecnología limpia” o “tecnología verde” por su naturaleza respetuosa con el medio ambiente. La extracción de la tecnología de fluido supercrítico es un tipo de proceso de extracción que separa un componente de otro utilizando un fluido supercrítico. Tiene la ventaja de exhibir propiedades tanto líquidas como gaseosas por encima de su punto crítico. El fluido

super crítico más utilizado es el CO<sub>2</sub>. Esta extracción gana mucha popularidad en diferentes campos debido a su bajo consumo de energía, menor consumo de tiempo y alto rendimiento. La tecnología supercrítica es utilizada en los campos de alimentos, aromas, productos farmacéuticos, aceites y grasas y en diversos sectores bioquímicos.

Amaral et. al., (2018) expone que las tecnologías emergentes no térmicas son una alternativa interesante para la disponibilidad de alimentos seguros para el consumo con características nutritivas sensoriales más cercanas a los productos, sustentando que la tecnología supercrítica entraría en esta categoría resaltando la tecnología de carbono supercrítico, como agente pasteurizador, la aplicación en procesos de alimentos da como resultado una pasteurización en frío. Describiendo como desventaja el uso de tecnologías convencionales que pueden conducir a la degradación de nutrientes termosensibles, además de afectar el sabor de los alimentos que se han sometido a procesos de cocción.

Liu et al., (2021) describe que el uso de fluidos supercríticos se ha desarrollado desde 1960 exponiendo que la tecnología ScO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono Supercrítico) utiliza presión en combinación con CO<sub>2</sub> para destruir microorganismos sin afectar el contenido nutricional o atributos organolépticos de los alimentos siendo una alternativa no térmica y prometedora a la pasteurización de alimentos.

Con relación al tema Silva et. al., (2019) explica la tecnología (SC-O<sub>2</sub>) como una técnica usada para extraer compuestos fitoquímicos de matrices vegetales, también para la ingeniería de partículas en la encapsulación y liberación de compuestos de actividad biológica, impregnación de sustancias activas en matrices poliméricas y muchas otras aplicaciones. El conocimiento de la utilización de esta técnica en bebidas a base de suero son escasas dado que es una tecnología

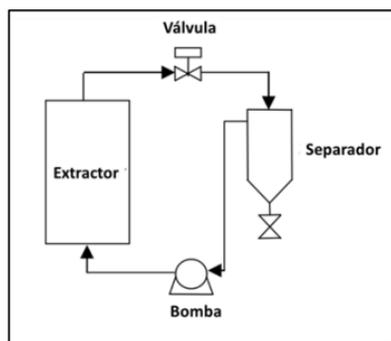
relativamente nueva, principalmente ha sido usada como una tecnología para la inactivación de *Staphylococcus áureas*, *Escherichia coli* y esporas bacterianas en la leche cruda, con el fin extraer y fraccionar compuestos de la leche y productos lácteos como el colesterol, proteínas del suero, glicomacropéptido de caseína y fosfolípidos de la membrana del glóbulo de la grasa de la leche.

### Descripción del proceso

Espinoza et. al., (2017) menciona que el proceso de extracción supercrítica comprende dos pasos ver figura 32, la extracción del componente soluble en el solvente supercrítico y la separación del soluto extraído del solvente. La matriz de extracción puede ser sólida, líquida o viscosa.

### Figura 32

*Diagrama básico de extracción supercrítica*



*Nota.* Muestra diagrama básico de extracción super crítica, tomada de (Espinoza et. al., 2017)

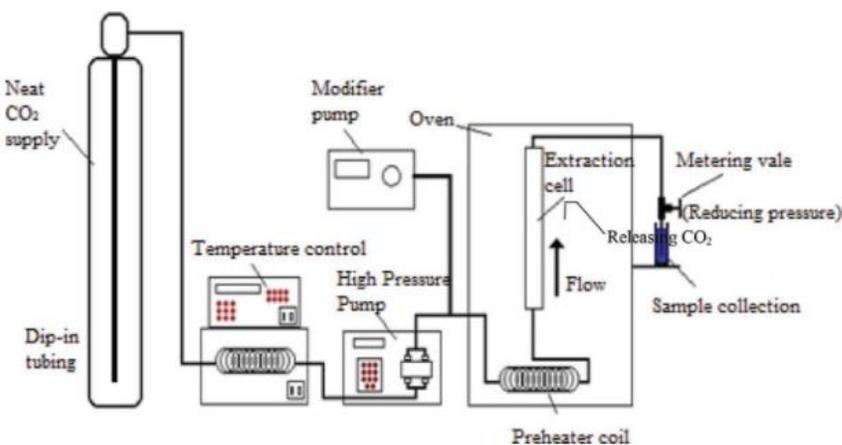
El material para extraer se coloca dentro del extractor, luego se hace pasar el fluido supercrítico dentro del recipiente de extracción mediante una bomba de solvente. Espinoza et. al.,(2017).

Espinoza et. al., (2017) comenta que el sistema se desarrolla hasta alcanzar la presión y la temperatura de extracción, aquí el solvente solubiliza los componentes afines de la matriz; en ese momento se hace fluir lentamente el solvente fuera del recipiente de extracción hacia el separador, manteniendo la presión y la temperatura en el sistema. Una vez en el recipiente de separación la caída de presión provoca que el fluido cambie de fase y se separe abruptamente de los componentes disueltos para poder ser recuperados fácilmente, y el solvente puede ser recirculado al sistema y ser reutilizado. Se pueden presentar dos escenarios: 1. Separación del material portado, en este escenario el material de alimentación es el producto final después de la remoción de compuestos indeseables. 2. Separación del material extraído, el compuesto extraído del material de alimentación constituye el producto final.

En la figura 33 se presenta equipo de extracción de fluidos super críticos.

### Figura 33

#### *Aparato de extracción de fluidos super críticos*



*Nota.* Muestra equipo de extracción de fluidos supercríticos Siendo: Neat CO<sub>2</sub> supply: Suministro puro de CO<sub>2</sub>, Dip-in tubing: Tubo de inmersión, Temperature control: Temperatura de control, Modifier pump: Bomba modificadora, High pressure pump: Bomba de alta presión, Oven: Horno, Preheater coil: Bobina de precalentamiento; Flow: Fluir; Releasing CO<sub>2</sub> : Liberar CO<sub>2</sub> ; Extraction cell: Celda de extracción; Metering vale: Válvula dosificadora; Reducing pressure: Reducir la presión; Sample collection: Colección de muestra. Tomado de (Sprick et al., 2019)

La tabla 32 menciona la operacionalización de variables que se tienen en cuenta en la aplicación de la técnica de fluidos super críticos.

**Tabla 32**

*Matriz de variables de operacionalización proceso de fluidos super críticos*

<b>Método</b>	<b>Tipo de Variable</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidad de medida</b>
Fluidos super críticos	Independiente	Cantidad del solvente	CO <sub>2</sub>
		Temperatura Critica	°C
	Dependiente	Presión critica para el CO <sub>2</sub>	bar
		Rendimiento	%

*Nota.* Menciona las variables del proceso que se aplican en la técnica de fluidos supercríticos aplicados como tratamiento al lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### **Revisión literaria científica**

Liu et. al.,(2021) expone una de las investigaciones más recientes sobre la aplicación de esta tecnología tratándose de la preparación y caracterización de nanopartículas de aislado de proteína de suero en CO<sub>2</sub> supercrítico, representando las nanopartículas como sistema prometedor para la encapsulación y liberación de compuestos bioactivos o ingredientes altamente sensibles. Aquí investigaron los efectos del dióxido de carbono super crítico sobre el tamaño y estabilidad de las proteínas del lactosuero, su estudio se basó en muestras con aplicación de tecnología y sin la aplicación de tecnología, el resultado obtenido fue muestras tratadas con tamaños uniformes y proteínas de suero más pequeñas a comparación con las muestras que no se aplicó tecnología.

Amaral et. al., (2018) en su investigación expone la tecnología de dióxido de carbono supercrítico en parámetros nutricionales (Expresados por compuestos bioactivos) y el perfil

bioactivo de la bebida elaborada a base de suero dulce y jugo de uva en la investigación no se observó impacto en cuanto al perfil volátil, así como los niveles totales de antocianinas. Como resultado se obtuvo una alternativa atractiva para la preservación de la calidad nutricional del producto, pero también falta información relacionada con el impacto de esta tecnología en cuanto a las propiedades sensoriales y físicas.

Silva et. al., (2019) realizaron estudio sobre el procesamiento no térmico de bebidas de guanábana enriquecidas con inulina utilizando tecnología de dióxido de carbono supercrítico, su principal objetivo fue el analizar esta técnica para el aprovechamiento de la inulina en la bebida.

La inulina es considerada un carbohidrato prebiótico utilizado en alimentos y bebidas funcionales como el caso del suero de guanábana considerado bebida funcional y en tendencia del nuevo desarrollo de productos alimenticios su objetivo es promover los efectos beneficiosos para la salud con estimulación de crecimiento probiótico, metabolismo lipídico, estimulación del sistema inmunológico, reducción de enfermedades gastrointestinales entre otras.

En la tabla 33 se muestran algunas de las últimas investigaciones desarrolladas sobre el tratamiento del lactosuero dulce para la creación de nuevos productos y aprovechamiento de este coproducto.

**Tabla 33**

*Investigaciones recientes de la aplicación de fluidos super críticos*

<b>Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/ investigaciones</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Bebida de suero de uva	Suero dulce	Conservación de bebidas de suero de uva sin alteración de	(Amaral et. al., 2018)

Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/ investigaciones	Tipo de suero	Aplicaciones en la industria de alimentos	Referencia
Bebidas de suero de guanábana enriquecida con inulina	Suero dulce	características fisicoquímicas Producto lácteo innovador utilizando tecnología super crítica	(Silva et. al., 2019)
Nanopartículas de aislado de proteína de suero	Suero dulce	Utilización de proteínas del suero como vehículos para atrapar, proteger y suministrar compuestos bioactivos	(Liu et. al., 2021)
Estabilizante de mantequilla y aceite de maíz	Suero dulce	Aprovechar los beneficios de la proteína de suero y controlar los comportamientos reológicos de emulsiones	(Ruttarattanamongkol et. al., 2015)

*Nota.* Muestra las investigaciones recientes sobre el proceso de fluidos super críticos aplicado como tratamiento al lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### *Altas presiones hidrostáticas*

#### **Conceptualización**

La et. al.,(2013) señalan que el inicio de los procesos de alimentos por Altas presiones Hidrostáticas (APH) se da a finales del siglo XIX. Hite en 1899 aplicó esta tecnología para mejorar la calidad de la leche. Sus investigaciones demostraron que la leche sometida a altas presiones (450 MPa o mayores) mantenían por más tiempo sus propiedades, sin embargo, estos procesos al inicio no eran aplicados industrialmente por sus diferentes variables, más tarde, Hite describió el mismo proceso en otros alimentos como frutas y zumos analizando que algunos microorganismos eran más susceptibles al tratamiento como levaduras, bacterias lácteas y otros

no eran susceptibles. La aplicación de APH en alimentos tiene la ventaja de inactivar microorganismos sin aumentar sensiblemente la temperatura de los alimentos. Siendo un método de elección para prolongar la vida útil de los alimentos especialmente sensibles al calor sin afectar sus propiedades nutritivas y sensoriales, es un tratamiento efectivo para inactivar microorganismos tanto en productos sólidos como líquidos.

Marciniak et al., (2020) y Lv et. al., (2020) coinciden en que las altas presiones hidrostáticas son una tecnología no térmica muy utilizada a escala industrial, especialmente para procesos de inactivación microbiana debido a su mínimo impacto en las propiedades organolépticas, nutricionales y sensoriales de los alimentos. Resaltando la importancia del control de variables como temperatura, tiempo y presión que si no son controladas pueden desencadenar el desorden conformacional y propiedades tecno funcionales de las proteínas. Además, es una tecnología muy respetuosa con el medio ambiente que puede inactivar microorganismos, enzimas patógenos y de descomposición con poco o ningún efecto sobre la calidad de los alimentos.

### **Descripción del proceso**

La et. al., (2013) afirma que el procesado de alimentos por altas presiones hidrostáticas consiste en someter a los alimentos a presiones en el rango de 100 a 800 Mpa (1000-8000 atm aproximadamente) durante un periodo comprendido entre 3 a 30 minutos. La presión se trasmite al alimento envasado en un recipiente flexible a través de un fluido. En las aplicaciones industriales, las elevadas presiones requeridas se generan introduciendo un líquido, generalmente agua, en la cámara de tratamiento mediante bombas especiales capaces de trabajar en condiciones extremas. El tratamiento por Altas presiones Hidrostáticas (APH) presenta las

ventajas de que la presión ejercida en el interior de la cámara es exactamente la misma en todos los puntos garantizando la homogeneidad de la técnica, que una vez alcanza la presión de trabajo no se requiere más energía para mantener las condiciones del sistema. Este procedimiento es capaz de inactivar microorganismos, enzimas y producir cambios deseables en la estructura de los alimentos sin aumentar sensiblemente su temperatura.

En los equipos de alta presión, los alimentos líquidos o sólidos envasados con material sensible, se colocan en el interior de la cámara de Pasteurización. El sistema de bombeo va sustituyendo el aire de la cámara por el fluido de presurización hasta su llenado total. Luego de alcanzada la presión deseada, una válvula que cierra el circuito permitirá mantener la presión durante el tiempo estipulado para que el proceso sea correcto, finalmente pasa a la descompresión sin necesidad de un aporte extra de energía (Figura 34). El fluido transmisor de la presión suele ser agua, por este motivo el nombre de alta presión hidrostática es el único apto a nivel industrial. (Trejo et. al., 2017)

### Figura 34

*Diagrama de proceso de Altas presiones Hidrostáticas*



*Nota.* Ilustra diagrama de proceso de Altas presiones Hidrostáticas .Tomado de (La et al., 2013)

### Equipos de proceso

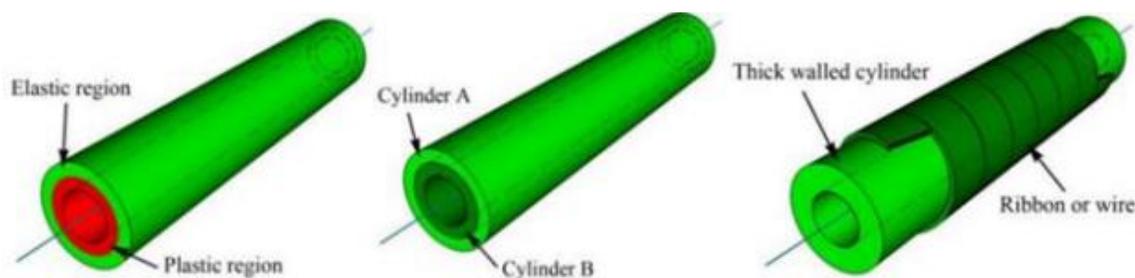
Los equipos de proceso por Altas presiones hidrostáticas constan esencialmente de una cámara de tratamiento, donde se introduce el producto envasado en unos batieres de plástico, el sistema generador de presión, es el encargado de generar la presión dentro de la cámara y el sistema de control que permite monitorizar y controlar el proceso (La et al., 2013).

### ***Cámara de tratamiento***

La cámara de tratamiento es el componente más importante del equipo. Trata de una cámara cilíndrica donde se introduce el alimento para ser procesado. El diseño de esta es esencial dado que debe ser capaz de resistir altas presiones sin destruirse. Las primeras cámaras de tratamiento consistían en un cilindro metálico al cual se le realizaba un orificio para alojar un producto a tratar en su interior, actualmente los diseños son más complejos y pueden diferenciarse tres tipos: cilindros monolitos, cilindros concéntricos y cilindros simples ver Figura 35 (La et. al., 2013)

### **Figura 35**

*Tipos de cilindros según el tratamiento por APH a aplicar*



*Nota.* Ilustra diferentes tipos de tubos utilizados para el proceso de APH Tomada de (La et. al., 2013)

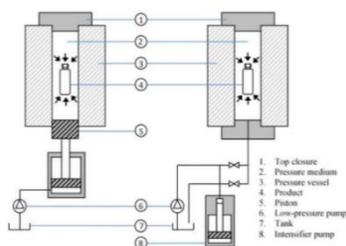
### ***Sistema generador de presión***

La alta presión necesaria para el procesamiento de alimentos puede generarse mediante sistemas de compresión directos o indirectos. Sistema directo se genera mediante pistón que se desplaza por el interior de la cámara de presurización disminuyendo volumen. En los sistemas

indirectos una bomba de baja presión llena el recipiente de agua que luego será comprimida por un intensificador de presión figura 36 (La et. al., 2013).

**Figura 36**

*Sistema directo e indirecto de generación de presión*



*Nota.* Representa sistema directo e indirecto para generar presión en el proceso de APH Siendo: Top closure: cierre superior; Pressure médium: Medio de presión; Pressure vessel: Recipiente a presión; Product: Producto; Pistón: Pistón; Low-presure pump: Bomba de baja presión; tank: Tanque; intensifier pump: bomba intensificadora. Tomada de (La et. al., 2013)

En la tabla 34 se mencionan las variables del proceso utilizadas en la técnica de altas presiones hidrostáticas usadas para el procesamiento y/o tratamiento del lactosuero.

**Tabla 34**

*Matriz de operacionalización proceso de altas presiones Hidrostáticas*

Método	Tipo de Variable	Variable	Unidad de medida
Altas presiones hidrostáticas	Independiente	Presión Tiempo Temperatura	MPa s, min. T°
	Dependiente	Reducción bacteriana Modificación de propiedades funcionales  Modificaciones fisicoquímicas	Log N/No % de solubilidad % de viscosidad Capacidad Emulsificante, etc. %proteína % de lactosa % de grasa Densidad pH %Solidos totales

*Nota.* Muestra las operaciones variables sobre el proceso altas presiones Hidrostáticas (More, 2019).

## Revisión literatura científica

Marciniak et. al., (2020) en su investigación resaltan que las proteínas del suero en varios trabajos mostraron el despliegue asistido por altas presiones hidrostáticas que podrían mejorar sus propiedades tecno funcionales y los rendimientos de la hidrolisis enzimática, siendo esta generalmente utilizada para obtener péptidos con mayor bioactividad y menor alergenicidad que las proteínas nativas.

Carullo et. al., (2021) desarrollaron estudios donde evaluaron el efecto del tiempo de almacenamiento en la estructura y funcionalidad de un aislado de proteína de suero tratado con APH aplicando diferentes presiones (100-600MPa) y tiempos de tratamiento de (15-30 min) a dispersiones acuosas. Analizaron el grado de despliegue incluido para seleccionar condiciones óptimas de tratamientos con APH de proteína de suero antes de su almacenamiento a 4° C. Como resultado los rendimientos de hidrolisis de enzimas seleccionadas frente a las proteínas del suero fueron elocuentemente originados por la presión.

Carullo et. al., (2021) afirma en su investigación que poco trabajos han estudiado la reversibilidad del despliegue inducido por altas presiones hidrostáticas de proteínas derivadas del suero en función de su temperatura y pH por tiempos de almacenamiento cortos. En su estudio se determina el impacto del tiempo de almacenamiento y las propiedades estructurales y tecno funcionales de proteínas de suero modificadas mediante el tratamiento de APH

Lv et al., (2020) señalan un estudio donde fabricaron partículas de gel de aislado de proteína de suero, mediante el tratamiento y homogenización de altas presiones hidrostáticas, para usar las partículas como estabilizadores de grado alimenticio y así formar emulsiones

pickering y geles emulsificantes. Este estudio mostro que el pH tenía un efecto significativo sobre las propiedades de las partículas del gel de proteína de suero.

Los geles de la emulsión “pickering” se formaron a partir de las emulsiones estabilizadas por partículas de pH 5.0 después de un almacenamiento de 3 días a temperatura ambiente (25°). La microscopia demostró que las partículas de proteína de suero formaron una capa de partículas estabilizadoras de la emulsión de “pickering”. Además, los geles de esta emulsión demostraron mayor eficacia de la carga de curcumina y mejor estabilidad frente a la degradación de la luz.

En los últimos años se han desarrollado importantes investigaciones acerca de la aplicación del método de altas presiones hidrostáticas las cuales demuestran una aplicación innovadora y de aprovechamiento del lactosuero en la Tabla 35 se pueden observar algunas de las investigaciones más recientes donde se ha aplicado esta técnica.

### Tabla 35

#### *Investigaciones recientes aplicando método de altas presiones hidrostáticas*

<b>Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/ investigaciones</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Producción de fracciones de a-lactoalbúmina y B-lactoglobulina	Suero dulce	Aplicación de altas presiones hidrostáticas como apuesta innovadora para el fraccionamiento de proteínas valiosas provenientes del suero de queso	(Marciniak et. al., 2020)
Cambios en las propiedades estructurales y tecno-funcionales del aislado de proteína	Suero dulce	Por medio del tratamiento de presiones hidrostáticas mejorar la hidrolisis enzimática de las proteínas de suero	(Carullo et. al., 2021)

Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/ investigaciones	Tipo de suero	Aplicaciones en la industria de alimentos	Referencia
Caracterización y encapsulación de curcumina	Suero dulce	Sistema de diseño eficaz para encapsular curcumina para aplicación en productos alimenticios	(Lv et. al., 2020)
Concentrado de proteína de suero modificada su antigenicidad	Suero dulce	Aplicación de tecnologías innovadoras como Altas presiones hidrostáticas sobre procesos de hidrolisis hidrostáticas permitiendo el mejoramiento de las proteínas de suero especiales para formulas infantiles	(Ambrosi et. al., 2016)

**Nota.** Muestra las investigaciones más recientes sobre el proceso de altas presiones hidrostáticas aplicados como tratamiento al lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### *Plasma frio*

#### **Conceptualización**

Ribeiro et. al., (2021) y Liao et. al., (2017) nos cuentan que el “plasma” se refiere a un gas eléctricamente neutro en general compuesto por moléculas, átomos, iones y electrones libres moléculas neutras y partículas cargadas con múltiples interacciones entre ella, produciéndose por la ionización del gas con descargas eléctricas que pueden ser a presión atmosférica y a temperatura ambiente (Misra et. al., 2014). El plasma frío se centra en la modificación de estructuras de la superficie de alimentos para mejorar propiedades fisicoquímicas, resaltando que en el área de alimentos llama mucho la atención este tratamiento debido a su corto tiempo, alta eficiencia y abundantes especies reactivas generadas a bajas temperaturas. (Gong et al., 2021).

## Descripción del proceso

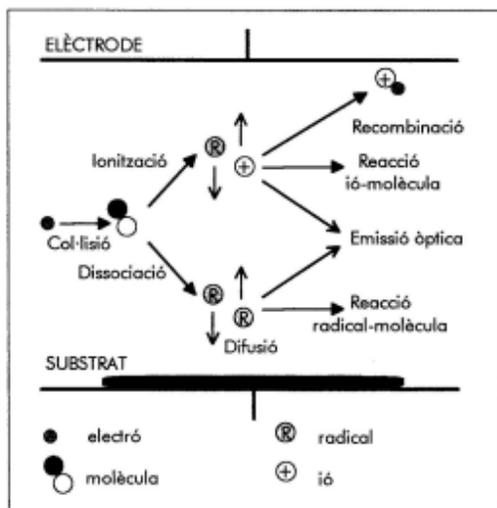
El plasma fue descubierto por primera vez por William Crookes en 1897 y en 1929 se desarrolló el primer intento por aplicarlo en la Física. Es considerado el cuarto estado de la materia en el mundo. Con el aumento de la energía, el estado de la materia se transfiere de sólido a líquido, a gas y finalmente a plasma. El plasma es una colección de átomos, iones, electrones, fotones y átomos con agua neutra en sus estados fundamentales. Según la temperatura de los electrones el plasma se puede agrupar en baja temperatura ( $T_e=10^4\sim 10^5\text{k}$ ) y plasma de alta temperatura ( $T_e=10^6\sim 10^8\text{k}$ ). Mas específicamente el plasma de baja temperatura se puede distinguir en plasma térmico y plasma no térmico, sobre la base del equilibrio termodinámico. La generación del plasma, este se puede generar mediante diferentes métodos, incluida la descarga de gas, la fotoionización, la radiación térmica y las radiofrecuencias. (Liao et. al., 2017)

Lopez, (2019) indican que el principio para crear el plasma es el aplicar una cantidad de energía a un gas para reorganizar la estructura electrónica de los átomos de manera que se pueda producir iones. El plasma presenta propiedades de conductividad calorífica y eléctrica que dependen de gran parte de su grado de ionización. El estado de plasma comporta pérdidas energéticas por radiación al ambiente circundante por conducción en las superficies que están en contacto o por las diferentes reacciones químicas que tienen lugar. En consecuencia, para mantener el estado de plasma se requiere de un suministro de energía constante y tan rápido como las pérdidas de energía asociadas. El método más común para mantener el estado del plasma es mediante descarga eléctrica; el campo eléctrico transmite la energía a los electrones, que son especies cargadas que poseen una mayor energía cinética. Esta energía electrónica se

transmite a las especies neutras mediante colisiones elásticas o inelásticas como se observa en la figura 37.

### Figura 37

*Proceso de ionización y de transferencia de energía de átomos o moléculas.*



*Nota.* Esquema de proceso de ionización y de transferencia de energía de átomos o moléculas mediante un campo eléctrico y electrones acelerados. Tomada de (Decana, 2019)

Liao et. al., (2017) señala que la forma más común de generar plasma frío es por medio de la descarga de gas. Durante el procesamiento de la descarga de gas, la energía del campo eléctrico es acumulada por electrones a través de colisión, y solo una fracción de la energía se transferirá a otras partículas lo que dará como resultado  $T_e > T_n$  estado no térmico del plasma. Los dispositivos más comunes para la producción de plasma frío incluyen descarga de barrera dieléctrica, descarga de barrera resistiva, descarga de corona, descarga luminiscente, descarga de radiofrecuencia y chorro de plasma a presión atmosférica.

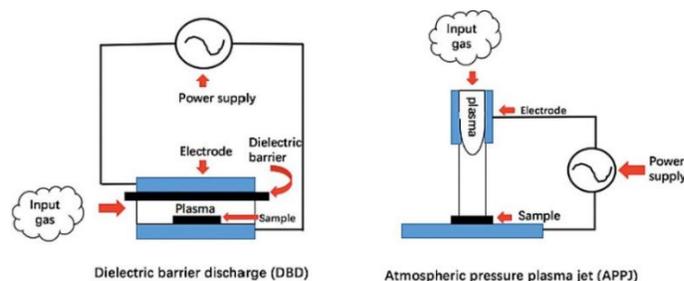
Misra et. al., (2014) realizaron estudio donde introdujeron un sistema de descarga de barrera dieléctrica para generar un plasma frío, en este sistema un transformador de alto voltaje

entrego un voltaje de salida de 60 kW a 50 Hz entre dos electrodos circulares de aluminio para hacer la descarga de aire y producir el plasma adecuado.

En la actualidad la descarga de barrera dieléctrica y chorro de plasma a presión atmosférica son las formas de actuación del plasma más comúnmente y ampliamente estudiadas Figura 38, Liao et. al., (2017).

### Figura 38

#### *Métodos de generación de plasma frío*



**Nota.** Métodos de generación de plasma frío por descarga de barrera dieléctrica (DBD) y chorro de plasma a presión atmosférica. Siendo: Dielectric barrier discharge: descarga de barrera dieléctrica; Atmospheric pressure plasma jet: Chorro de plasma a presión atmosférica; input gas: gas de entrada; Power supply: Fuente de alimentación; Electrode: electrodo; dielectric barrier: barrera dieléctrica; Sample: muestra. Tomada de (Liao et. al., 2017)

En la tabla 36 se citan variables de operacionalización aplicando la técnica de plasma frío sobre el tratamiento del lactosuero.

### Tabla 36

#### *Matriz operacionalización variables de proceso de plasma frío*

Método	Tipo de Variable	Variable	Unidad de medida
Plasma Frío	Independiente	Voltaje	KV
		Frecuencia	KHz
		tiempo (asociado a los pulsos eléctricos)	µs
		Tiempo de exposición	s
	Dependiente	Reducción bacteriana	Log N/No

*Nota.* Muestra las operaciones variables sobre el proceso de plasma frío aplicado como tratamiento al lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### **Revisión literatura científica**

Gong et. al., (2021) presentaron un estudio donde el plasma frío se utilizó como herramienta verde y eficaz para modificar el aislado de proteína de suero, con el objetivo de mejorar su capacidad de emulsión. Construyeron los oleo geles a base de emulsión con funciones antibacterianas utilizando el aislado de proteína de suero modificado con plasma frío por debajo de 10 a 50W de potencia lo cual redujo significativamente la tensión interfaz agua-aceite. Obteniendo como resultado que el plasma frío mejoro las propiedades funcionales del aislado de proteína de suero la cual mejoro la actividad de interfaz en aceite-agua y la intensidad de fluorescencia, lo que llevo a la conclusión que con la utilización del plasma frío se pueden construir oleo geles antimicrobianos seguros no tóxicos y amigables con el medio ambiente.

Ribeiro et. al., (2021) desarrollaron un estudio sobre el impacto del plasma frío en las propiedades Tecno funcionales y sensoriales de la bebida láctea de suero añadida con xilooligosacárido, exponen que el suero comúnmente se somete a pasteurizar con el objetivo de eliminar los patógenos y reducir los microorganismos de descomposición, resaltando que la aplicación de esta tecnología convencional afecta negativamente propiedades fisicoquímicas, sensoriales y nutritivas de los productos. Las tecnologías no térmicas como el plasma frío son apuestas llamativas y potenciales para el procesamiento de bebidas del suero. En su estudio los resultados fueron favorables sobre las bebidas lácteas de suero mejorando sus características tecno funcionales gracias a la aplicación del plasma frío presentando concentración de prebióticos más altas e indicadores de cargas microbiológicas más bajas.

De acuerdo a Segat et. al., (2015) el plasma frío a presión atmosférica es una tecnología relativamente nueva para la descontaminación microbiana y la esterilización de los alimentos. El

plasma ha presión atmosférica puede obtenerse exponiendo un gas o mezcla de gases a un campo eléctrico, que al tiempo acelera las partículas cargadas, provocando colisiones con las especies pesadas. Aunque esta es una tecnología prometedora para diferentes campos de producción de alimentos, en la actualidad, la única aplicación comercial de la técnica de aplicación de plasma frío a presión atmosférica para la industria alimentaria se limita al procesamiento.

La aplicación del método de plasma frío se ha ampliado para procesos de caracterización y tratamientos del lactosuero, en la tabla 37 se exponen algunas de las investigaciones más recientes utilizando esta técnica.

**Tabla 37**

*Investigaciones recientes aplicando método de plasma frío*

<b>Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/ investigaciones</b>	<b>Tipo de suero</b>	<b>aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Caracterización de aislados de proteína de suero y aplicación en oleo geles en emulsión	No específico	Mejorar la capacidad de emulsión del aislado de proteína de suero por medio del plasma frío	(Gong et. al., 2021)
Propiedades tecno funcionales y sensoriales de bebidas lácteas de suero con adición de xilooligosacárido (XOS)	No específico	Bebidas lácteas de suero añadidas con XOS con concentraciones prebióticas adecuadas, aceptabilidad sensorial y con propiedades funcionales más alta debido su mayor concentración de compuestos bioactivos e indicadores de carga más bajos.	(Ribeiro et. al., 2021)

Productos obtenidos del fraccionamiento o uso directo del lactosuero/ investigaciones	Tipo de suero	aplicaciones en la industria de alimentos	Referencia
	No específico		
Bebida de suero con sabor a guayaba		Mejoramiento de condiciones operativas más suaves para la vitamina c y la actividad antioxidante del lactosuero	(Silveira et. al., 2019)
Tratamiento con plasma frío sobre las propiedades antigénicas de las proteínas del suero	No específico	El plasma frío reduce la antigenicidad de la a-lactoalbúmina	(Ng et. al., 2021)
Geles de aislados de proteínas	No específico	Geles de aislados de proteínas de suero inducidos por iones sobre soporte de vidrio activado por plasma frío	(Terpiłowski et al., 2017)

*Nota.* Muestra las investigaciones más recientes sobre el proceso de plasma frío aplicado como tratamiento al lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

## Técnicas biotecnológicas empleadas para la recuperación de los constituyentes del lactosuero y/o para su aprovechamiento

### *Biofermentación*

#### **Conceptualización**

Actualmente la biofermentación está tomando gran importancia para la producción de energías renovables por medio de residuos industriales como sustratos. Los principales compuestos biodegradables en los desechos de biomasa incluyen carbohidratos, proteínas y lípidos. La presencia de proteína en el sustrato proporciona una fuente de nitrógeno que mejora el crecimiento y la actividad de las bacterias productoras de H<sub>2</sub>. El suero de queso es un residuo de alta resistencia de los procesos de fabricación de queso que se puede utilizar como materia prima económica para la producción de combustibles por fermentación.

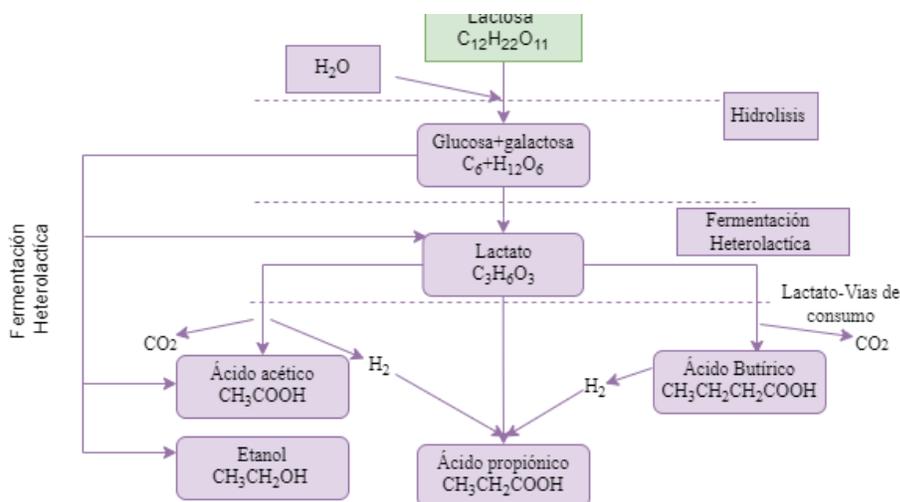
Los bioprocesos como la digestión anaeróbica o la fermentación, así como la producción biológica de polímeros y sistemas bio electroquímicos, tienen la ventaja de acoplar el tratamiento de efluentes lácteos con la producción de bioenergía y/o productos bioquímicos en condiciones de temperatura moderada, típicamente dentro del rango 20-55°C. La implementación de un proceso integrado que incluya la combinación de procesos físicos, químicos y biológicos, es por tanto la clave para una valorización rentable y eficiente de los efluentes lácteos (Sajad et. al., 2021).

### **Descripción del proceso**

El ácido láctico es producido principalmente por bacterias pertenecientes a los géneros *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus* Y *Enterococcus*, La lactosa es hidrolizada por enzimas como la B-galactosidasa, producida por las bacterias del ácido láctico, en glucosa y galactosa y luego se convierten en ácido láctico por medio de la fermentación homoláctica (Figura 39). Dando como resultado un rendimiento de 4mol de lactato mol<sup>-1</sup> de lactosa. Se puede producir etanol o acetato junto con lactato a través de la fermentación hetero láctica, reduciendo la mitad del lactato. El tipo de vía de fermentación y el isómero de lactato específico producido dependen de las bacterias de ácido láctico involucradas en las condiciones operativas, característicamente del pH.(Asunis et. al., 2020).

**Figura 39**

*Vías de fermentación más comunes en el lactosuero*



*Nota.* Presenta las vías de fermentación de la lactosa más comunes de microorganismos autóctonos del lactosuero. Adaptada de (Asunis et. al., 2020)

Sajad et. al., (2021) en su revisión afirma que las bacterias del ácido láctico tienen un potencial limitado para bio sintetizar aminoácidos, la presencia de una fuente de nitrógeno es crucial para su crecimiento. Debido a su alto contenido de proteínas, el lactosuero crudo se puede utilizar para la producción de lactato, aunque podría ser necesaria la hidrólisis enzimática de la lactosa.

### Revisión literaria

Zieliński et. al., (2017) Desarrollaron una investigación para determinar la posibilidad de aplicar bacterias psicrófilos para la producción de hidrogeno en suero de queso para aprovechar este coproducto proveniente de la producción del queso como materia prima para la producción de combustibles. Dependiendo de la variable experimental, se realizaron análisis a las bacterias psicrófilos que representaron en biogás un rango de 32,61% a 43,21%. La concentración de Hidrogeno producido del suero de queso estuvo desde 20,1 ml hasta 58,1ml obteniendo como

resultado un análisis prometedor para la aplicación en perspectiva del producto y siendo amigables con el cuidado del medio ambiente.

Entre varios biocombustibles el hidrogeno es una fuente prometedora de energía alternativa y renovable para el futuro. Los sistemas que pueden operar como combustible de hidrogeno son limpios dado que no emiten CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>, no contaminan suelos ni acuíferos. Conjuntamente, el contenido energético del H<sub>2</sub> es de 122 KJ/g, un valor 2,75 veces superior al de hidrocarburos. Actualmente la viabilidad de la producción de H<sub>2</sub> a partir de residuos alimentarios se ha estudiado ampliamente desde el punto de vista de las características de los materiales y la co-digestión con una fuente de nitrógeno. El suero de queso es un residuo de alta resistencia de los procesos de fabricación de queso que se puede utilizar como materia prima económica para la producción de combustibles por fermentación debido a su alto contenido de carbohidratos (5-6% de lactosa), proteínas (0,8%-1%) y contenido de grasa (0,06%). Se realizo un estudio el cual examino la eficacia de la producción de biohidrógeno a partir de suero en polvo utilizando diferentes grupos bacterias anaerobias *psicrófilos* donde se obtuvo que la concentración más alta de hidrogeno se determinó para *Rahnella aquatilis* (Dębowski et. al., 2014).

Ding et. al., (2021) Desarrollaron un estudio para la utilización bio funcional de suero en polvo como sustrato e inductor para producir B-farneseno mediante la cepa F13 de *E. coli* modificada. La glucosa hidrolizada del suero en polvo aseguro el crecimiento normal de la cepa F13. Al mismo tiempo, la lactosa en el suero en polvo fue transgalactotosilada por la cepa F13 tanto en matraces de agitación como en un biorreactor utilizando suero en polvo como sustrato e inductor. Por lo tanto, la nueva estrategia podría aplicarse para aumentar la producción

de *B-Farnesano* con *E. coli* de ingeniería y convertir con éxito el suero en polvo económico en combustible de alto valor agregado.

En la tabla 38 se mencionan las investigaciones más recientes del proceso biofermentación como técnica aplicada en el tratamiento del lactosuero.

**Tabla 38**

*Investigaciones recientes sobre el método de Biofermentación aplicado al lactosuero*

Productos obtenidos	Tipo de suero	Microorganismo / enzima	Biofermentación o por Hidrólisis enzimática	Aplicaciones en la industria de alimentos	Referencia
Biohidrógeno	Acido	Bacterias <i>psychrophic</i>	Biofermentación	Aprovechamiento del lactosuero proveniente del queso como materia prima económica para la producción de combustibles	(Zieliński et. al., 2017)
Hidrogeno	Suero en polvo	Bacterias psicrófilos	Biofermentación	Producción de biogás que funciona como energía renovable para la utilización en la industria alimentaria	(Dębowski et. al., 2014)
B-farneseno	Suero en polvo	Cepa F13 de <i>E. coli</i> modificada	Biofermentación	Aumento de producción de B-farnesano con <i>E. coli</i> de ingeniería convirtiendo con éxito el suero en polvo económico en combustible gaseoso de alto valor agregado	(Ding et. al., 2021)
Biomasa fúngica	Suero liquido	N. intermedia CBS 131.92	Biorrefinería	Producción de biomasa fúngica rica en proteínas y metano a partir de suero	(Sajad et. al., 2021)

*Nota.* Muestra las investigaciones más recientes con la técnica bio fermentación aplicado al lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### ***Hidrólisis enzimática***

#### **Conceptualización**

La hidrolisis enzimática es un proceso que permite desdoblar la lactosa en dos componentes monosacáridos glucosa y galactosa, con el propósito de reducir su contenido, a pesar de valor nutricional tiene restricciones y no puede ser metabolizada por algunas levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, porque esta cepa carece de Beta D-galactosidasa, y es por ello la importancia de la hidrolisis enzimática previa a otros procesos como por ejemplo de fermentación alcohólica para la obtención de bioetanol donde se realiza en condiciones de temperatura y pH específico. La hidrolisis enzimática es un método estándar para modificar las proteínas del suero para reducir su alergenicidad mediante la escisión de regiones antigénicas (epítomos). Las enzimas digestivas provocan la ruptura de enlaces peptídicos correspondientes, resultando una reducción significativa o la eliminación completa de la capacidad de unión de un anticuerpo específico. (Ordoñez, 2013).

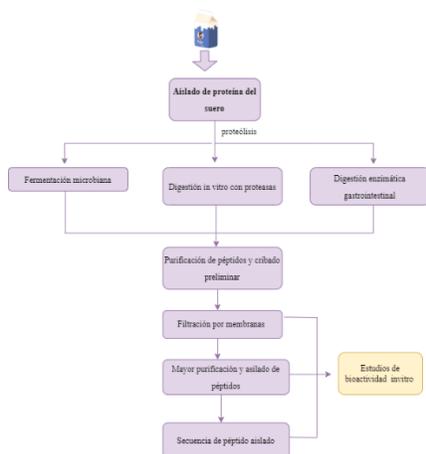
#### **Descripción del proceso**

C. Zhao y Ashaolu, (2020) mencionan en su estudio el proceso general para la producción de péptidos bioactivos de suero es por medio de la hidrolisis. Es más usada la hidrolisis enzimática que la extracción con el solvente, la hidrolisis fermentativa o química debido a la ausencia de residuos tóxicos, químicos o solventes orgánicos en los hidrolizados y péptidos. La enzima debe ser específica y otras condiciones de hidrolisis enzimática, incluido el pH, la temperatura, el tiempo de hidrolisis y la relación enzima/sustrato deben ser óptimas para

la producción de péptidos bioactivos de suero porque después del tratamiento con varias enzimas se encuentra disponible una mezcla de péptidos con amplia especificidad. La tripsina es una enzima comercial aplicada para la hidrólisis de proteínas, que pueden generar péptidos del suero de leche antioxidantes citoprotectores. Los péptidos de distintas enzimas suelen tener sus funciones biológicas preferibles. Por ejemplo, los péptidos de suero hidrolizados con proteasa tienen más actividad inhibidora de la enzima convertidora de angiotensina que la tripsina. La hidrólisis enzimática se puede realizar en un lote o en un reactor continuo para producir péptidos bioactivos. El flujo típico de producción de péptidos bioactivos del suero se presenta en la figura 40.

#### Figura 40

*Flujo típico de producción de péptidos bioactivos.*



*Nota.* Muestra del flujo típico de producción de péptidos bioactivos del suero. Adaptado de (C. Zhao y Ashaolu, 2020)

Figuroa et. al., (2020) Describe el proceso de hidrólisis enzimática, que se realizó mediante una reacción la cual consistía en mantener el pH constante mediante la adición de base o ácido diluido. En su estudio al utilizar una reacción alcalina, utilizo NaOH 1 M. En principio,

la base agregada para mantener el pH neutraliza únicamente los protones liberados durante la ruptura del enlace amida de las proteínas y péptidos a pH alcalino, sustitutos por el catión base; de este modo los protones generados por la hidrólisis son equivalentes a moles de la base añadida. La estimación del GH o grado de hidrólisis se realizó utilizando la ecuación de la Figura 41.

### Figura 41

*Ecuación para proceso de Hidrólisis Enzimática*

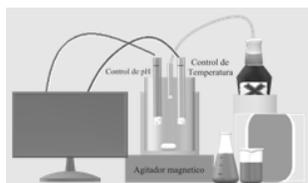
$$GH = \frac{h}{h_{tot}} \times 100 = \frac{V_{NaOH} \times N_b}{M_p \times \alpha \times h_{tot}} \times 100$$

*Nota.* Muestra ecuación utilizada para la estimación de GH utilizada en el proceso de hidrólisis enzimática. Dónde: h: Número de enlaces peptídicos hidrolizados;  $H_{tot}$ : Número total de enlaces de péptidos en el sustrato de la proteína (eq/Kg);  $V_{NaOH}$ : Volumen de NaOH total (L),  $N_b$ : Normalidad de la base,  $M_p$ : masa de la proteína (en kg), GH: grado de hidrólisis Tomada de (Figuroa et al., 2020)

Figuroa et al., 2020 en su estudio utilizo sistema de reacción operado por un ordenador Software Tiamo Figura 42.

### Figura 42

*Sistema de reacción de hidrólisis.*



*Nota.* Representa esquema de reacción de hidrólisis. Tomado de (Figuroa et. al., 2020)

En la tabla 39 se mencionan la matriz de operaciones variables del del proceso de hidrólisis enzimática.

**Tabla 39**

*Matriz operaciones variables de proceso de Hidrolisis enzimática*

<b>Método</b>	<b>Tipo de Variable</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidad de medida</b>
Hidrolisis enzimática	Independiente	Temperatura	°C
		Acidez	pH
		Tiempo	s
		Concentración del sustrato	mmoles
		Concentración de enzimas	mmoles
	Dependiente	Grado de hidrolisis	%
		Proteínas	%
		Péptidos bioactivos	%
		Azúcares reductores	%
		Unidades de actividad enzimática	U

*Nota.* Muestra las operaciones variables sobre el proceso de hidrolisis enzimática aplicado al lactosuero. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.

### **Revisión literatura científica**

Bu et. al., (2020) Indica que la hidrolisis enzimática es un método común para liberar fenilalanina de materiales proteicos como carnes, lácteos y cereales. Desarrollando a veces sabor amargo cuando su proceso es extenso.

Zhang et, al., (2021) expone que actualmente la proteína del suero no es amigable para la población alérgica a la leche debido a la unión entre los epítopos de lactoalbúmina (a-la), la B lactoglobulina (B-Ig) y la Inmunoglobina E alérgeno-específica (IgE) de los pacientes. Actualmente no existe un método específico para la alergia de la proteína del suero, con el objetivo de reducir esta alergia se han presentado varias investigaciones al respecto donde han modificado la proteína del suero de forma física por medio de tecnologías convencionales como Calentamiento, presión, ultrasonido y adición de ácido; y métodos enzimáticos como Fermentación, hidrolisis o reticulación enzimáticas. La hidrolisis enzimática es un método estándar para modificar las proteínas del suero para reducir su alergenicidad mediante la escisión

de regiones antígenos (epítomos). La hidrólisis de las proteínas con tripsina se veía afectadas por algunos factores como el pH, la temperatura y el tiempo. Donde se encontraban relacionadas con el grado de hidrólisis. En su investigación exponen que el grado de hidrólisis afectaría el peso molecular y la composición de aminoácidos del hidrolizado de proteínas en consecuencia, las propiedades finales de los hidrolizados no son las mismas bajo diferentes grados de hidrólisis.

Bu et. al., (2020) desarrollaron un estudio sobre la preparación y caracterización de suero con bajo contenido de fenilamina mediante hidrólisis enzimática de dos pasos de adsorción de resina micro porosa, desarrollando un método enzimático de dos pasos para la eliminación eficaz de la fenilamina de la proteína de suero. Se demostró que la termo lisina combinada con proteasa A2SD (A2) mostraba un grado de hidrólisis que variaba del 42,62% al 45,43% y libero más del 90% de la fenilalanina de la proteína de suero. Teniendo como resultado que un hidrolizado de fenilalanina puede ser un sustituto proteico adecuado para elaborar alimentos proteicos.

Ambrosi et. al., (2016) menciona que las proteínas de suero generalmente se hidrolizan debido a su alto valor nutricional y son utilizadas como ingredientes de muchos productos especiales como formulas infantiles, complementos energéticos y alimentos dietéticos. En su estudio evaluaron la aplicabilidad de nuevas tecnologías, como las altas presiones hidrostáticas para ayudar a la hidrólisis enzimática sobre las proteínas de suero y mejorar antigenicidad. Los resultados permitieron modificar la secuencia antigénica de las proteínas del suero y su poder antígeno. En la tabla 40 se mencionan las investigaciones más recientes aplicando el método de hidrólisis enzimática.

**Tabla 40***Investigaciones recientes aplicando método de hidrólisis enzimática*

<b>Productos obtenidos /investigaciones desarrolladas</b>	<b>Enzima</b>	<b>Biofermentación o por Hidrólisis enzimática</b>	<b>Aplicaciones en la industria de alimentos</b>	<b>Referencia</b>
Efectos de la hidrólisis enzimática secuencial y reticulación sobre las propiedades funcionales	Transglutaminasa (Tgasa)	Hidrólisis enzimática	Mejorar las propiedades funcionales de la proteína de suero y promover un uso más amplio	(Zhang et. al., 2021)
Hidrolisis enzimática y la bioactividad del aislado de proteína de suero nano fibrilado	Pepsina Tripsina	Hidrolisis enzimática	Nano fibrilado como Ingrediente alimentario novedoso	(Farrokhi et. al., 2020)
Desarrollo de método enzimático de liberación de fenilamina de la proteína de suero	Termo losina	Hidrolisis enzimática	Sustituto proteico adecuado para elaboración de alimentos.	(Bu et. al., 2020)
Hidrolisis enzimática de proteínas de lactosuero asistida por presión hidrostática	Bromelina	Hidrolisis enzimática	Disminuir antigenicidad en proteínas de suero	(Ambrosi et. al., 2016)

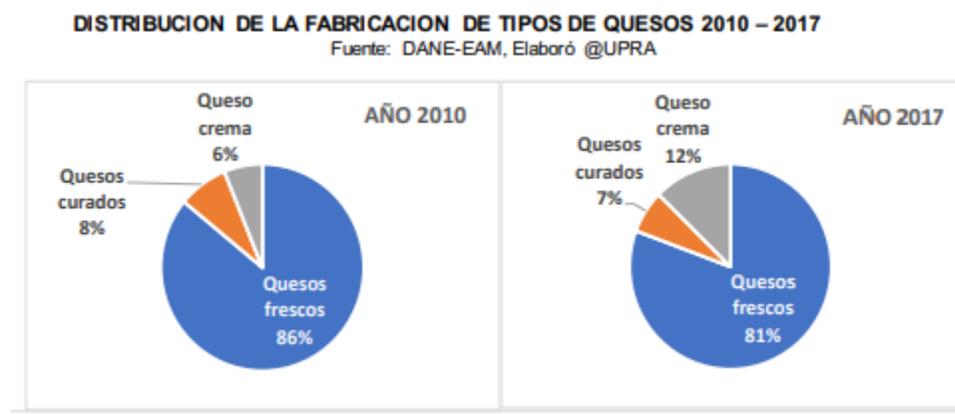
*Nota.* Muestra las investigaciones más recientes sobre el proceso de plasma frío aplicado el proceso de hidrólisis enzimática. Elaboración propia teniendo en cuenta investigaciones presentadas.



Algunos productos del segmento lácteo han crecido en las etapas de distribución y fabricación de quesos, lo que ha llevado a un alza en ventas en los últimos años, como se observa en la figura 44 para el año 2017 hubo un crecimiento en la producción y venta de quesos crema y frescos en relación con el 2010 lo que señala que también hubo un incremento en la producción.

#### Figura 44

*Distribución de tipos de quesos*



*Nota.* Sintetiza diagrama de distribución de tipos de queso en relación de 2010 y 2017 en Colombia. Tomada de (Gonzales, 2020).

Como lo señalan las cifras en la figura 43 la mayoría de las empresas dedicadas a la elaboración de productos lácteos son empresas medianas y pequeñas, varias de ellas son compañías artesanales o semi industriales, dedicadas a la elaboración de queso y no cuentan con una organización para el manejo y disposición del lactosuero a escala industrial.

Colombia formo en 2010n un programa de acompañamiento a empresarios con la iniciativa de cinco clúster lácteos, liderados por iNNpulsia y la Confederación Colombiana de Cámaras de Comercio (Confecámaras), este es un esfuerzo entre el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y la Unión Europea para fortalecer el sector lácteo colombiano. Un Clúster

es definido como una agrupación de empresas que están interrelacionadas en un mismo ámbito de actuación, permitiendo que varias compañías situadas en una misma línea compartan recursos.

En Colombia la iniciativa de clúster lácteos empezó a tomar fuerza en el 2010 con el CONPES (Consejo Nacional de Política Económica y Social) lácteo diseñado por el gobierno nacional y con el apoyo de la unión europea, quien ha invertido recursos para diferentes programas que protegen y fortalecen al empresario de este sector el cual se ha impulsado a través de iniciativas enfocadas a la innovación, desarrollo de modelos de negocio, mercado entre otras.

A partir de 2019 iNNpulsa Colombia, Confecámaras y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia, han tenido en cuenta las tendencias del mercado se han enfocado en productos lácteos funcionales y capacitación a los empresarios. Los clúster en Colombia se encuentran en los departamentos de Atlántico, Antioquia, Cesar, Bogotá-Cundinamarca y Boyacá impulsándolos a la apropiación de innovación, transferencia de conocimiento y acompañamiento empresarial (Lab.C et. al., 2020).

Actualmente algunas empresas aprovechan el afluente salino, realizando una eliminación apropiada, estas empresas hacen parte del clúster lácteo, en la tabla 41 se puede observar que otro uso se le ha dado al lactosuero.

#### **Tabla 41**

##### *Empresas que aprovechan el lactosuero en Colombia*

<b>Empresa</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Producto</b>	<b>Uso/ aprovechamiento del lactosuero</b>
Lácteos Zurilac	ubicada en la vereda Puerta Chiquita, sector armadillo-Finca Salitre- Boyacá	Queso Fresco	Aprovechan los sueros que son entregados o regalados a campesinos dueños de cerdos para su alimentación.

<b>Empresa</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Producto</b>	<b>Uso/ aprovechamiento del lactosuero</b>
Lácteos AURA S.A.S	Rionegro-Antioquia	Bebida de yogurt de frutas, crema de leche, cuajada, kumis, leche cruda, entera, UHT y mantequilla	Desde 2019 trabajan el aprovechamiento del lactosuero a través de tecnologías de membranas de filtración UF, NF y OI, ayudando al medio ambiente a través de la generación de nuevas líneas de producción
Fundación Diana Marcela	Valledupar-Cesar	Yogurt entero de frutas y yogurt griego	Manejan iniciativa de queso crema con proteína de suero la cual se encuentra en etapa de desarrollo

*Nota.* Presenta algunas de las empresas que hacen parte de los clústeres lácteos en Colombia las cuales tienen participación en el aprovechamiento o uso del lactosuero, elaboración propia basada en las investigaciones.

Como se puede observar Colombia presenta una iniciativa de clúster y algunas empresas aprovechan o dan uso al lactosuero, sin embargo, hace falta un gran impulso para aprovechar este coproducto, dado que los clústeres son los encargados de acoplar las empresas y generar apoyos sobre la industria láctea, pero la exigencia y apropiación sobre el aprovechamiento del lactosuero no es obligatoria. En la presente investigación se destaca que existen empresas que hacen este aprovechamiento, pero no llegan a ser suficientes para causar un gran impacto. Las iniciativas actuales en Colombia no indican un empuje de tecnología o de innovación sobre el aprovechamiento del lactosuero, la determinación más actual fue presentada por el INVIMA en junio de 2021 la cuál es lograr identificar si la leche comercializada tiene lactosuero en sus componentes o no, pero más allá de esto no hay iniciativas gubernamentales o de interés para que los industriales den un correcto uso y aprovechamiento al lactosuero en Colombia.

El no aprovechamiento del lactosuero en un país productor de este afluente salino representa un carácter social importante, donde se ha olvidado que muchas familias productoras se ven afectadas directamente por el desconocimiento de los usos que le pueden dar al lactosuero, además de poco apoyo gubernamental, un 63% de hogares en Colombia que realizan actividades tipo ganaderas de leche son consideradas pobres. En 2018 la producción de suero de leche fue de 1.179.097 Litros comparado con otros productos de la industria láctea su producción

es muy baja. Como impacto ante la sociedad tiene a pérdidas económicas, ambientales y sostenibles para una Nación importante en la industria láctea la cual demuestra la triste realidad de un sector olvidado el cual no se ha explotado.

### **Aspectos Ambientales**

Asas et. al., (2021) en su investigación exponen que el lactosuero es una de las sustancias más contaminantes que existen a nivel mundial, en esto concuerdan diferentes autores los cuales dicen que por cada 1000L de lactosuero se generan alrededor de 35kg de demanda Bioquímica de oxígeno (DBO) y aproximadamente 68kg de demanda química de oxígeno (DQO). Esto representa una contaminación de aguas sucias de un aproximado de 450 personas en un día, significando un grave daño ambiental. Se debe realizar una limitación del desecho de lactosuero en vertidos, ríos y corrientes de agua dado que es consumido por bacterias y otros microorganismos que utilizan el oxígeno del agua, debido a su valor nutritivo y energético. La demanda bioquímica de oxígeno producida por el suero de leche es de 40.0000 a 50.0000 mil de  $O_2$  mg \* L. El oxígeno de un río no contaminado es de  $10mg * L^{-1}$  en este caso el oxígeno presente en el agua llega a descender a 4 de  $O_2$  mg  $-L^{-1}$  lo que llega a producir desaparición de peces. El impacto ambiental ocasionado por el fluido resultante de la elaboración del queso es fuerte, representando a escala global unas 49,5 a 51,75 millones de toneladas métricas de lactosuero que se vierten en ríos, lagos, aguas residuales y en el suelo generando dos impactos uno la pérdida de nutrientes que tiene este afluente y dos la causa de daños ambientales.

Palmieri et. al., (2017) en su estudio expone que el suero de quesería es el principal contaminante producido por la industria láctea y tiene mayores impactos ambientales en las

categorías de agotamiento abiótico, agotamiento de la capa de ozono y demanda de energía acumulada.

Para promover la mitigación de impactos negativos generados por el mal manejo del lactosuero sobre el medio ambiente en el territorio nacional la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín está desarrollando un proyecto que promueve establecer una normatividad obligatoria para todos los productores de quesos y otros alimentos donde se obtenga este afluente salino, esta norma determina que los productores están obligados a darle un segundo uso a este coproducto, si no se realiza estarán comprometidos a pagar un % de dinero al estado. Este proyecto está en estudio y tiene como objetivo controlar la eliminación del lactosuero y evitar seguir causando daños sobre el medio ambiente.

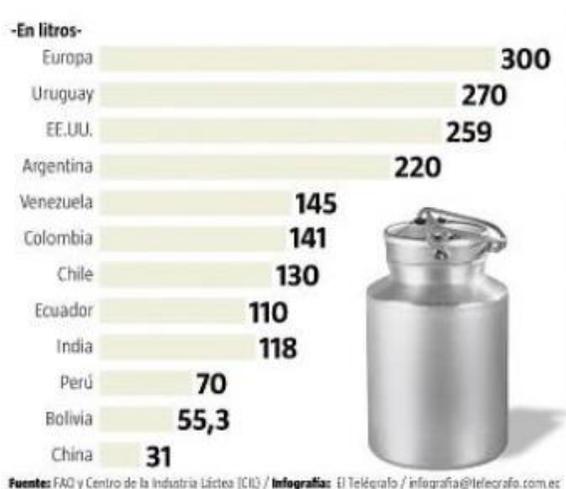
La política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo expuesta por el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES 3675) no presenta políticas que contribuyan con la prohibición de afluentes salinos sobre acuíferos, y no establece incentivos a las empresas para promover un manejo adecuado de estos residuos, demostrando que a nivel nacional hay poco interés sobre el cuidado ambiental esencialmente desde el área gubernamental encargada de establecer políticas y organización para un “mejor futuro del país”. En la búsqueda bibliográfica relacionada a los aspectos ambientales no se encuentro información que de fuerza a la importancia de cuidar el medio ambiente y mitigar daños causados por este afluente salino en Colombia, esto da a entender la falta de empoderamiento que hay en el país para cuidar nuestro territorio nacional y la falta de conciencia de los comerciales al exigir políticas que contribuyan con el mejoramiento de estas normas establecidas por las entidades correspondientes.

## Aspecto económico

Asas et. al., (2021) en su estudio exponen el consumo anual per cápita de la leche en el mundo, según las diferentes áreas geográficas (Figura 45), se observa a Colombia en una posición de consumo de 141 litros de leche por persona. La industria láctea en Colombia procesa diariamente 20.0000 Litros de leche de los cuales se destinan 15% para la elaboración de quesos obteniendo un 85% de Lactosuero (Sepulveda,2021).

### Figura 45

*Consumo anual per cápita de leche en el mundo.*

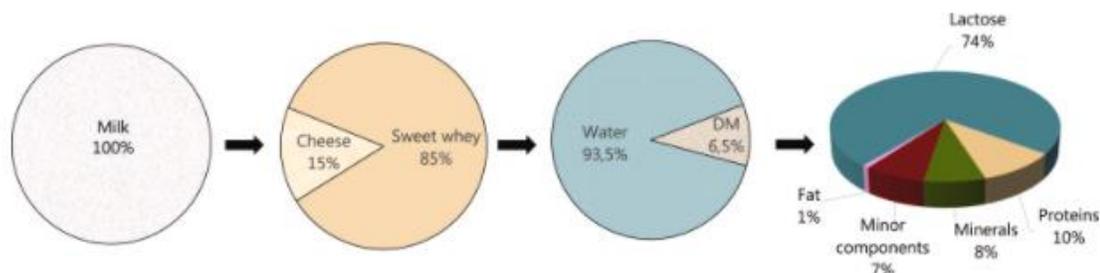


*Nota.* Presenta consumo per cápita anual en el mundo, teniendo en cuenta diferentes áreas geográficas tomada de (Asas et. al., 2021).

Tsermoula et. al., (2021) en su investigación expone que aproximadamente el 50% de los sólidos totales de la leche están presentes en el suero, representando en la Figura 46 que al ser desechado hay una pérdida esencial de los nutrientes presentes, representando impactos negativos sobre el medio ambiente y gran representación de pérdidas económicas en la industria láctea encargada de la elaboración de quesos y otros productos donde se obtiene como resultante este coproducto.

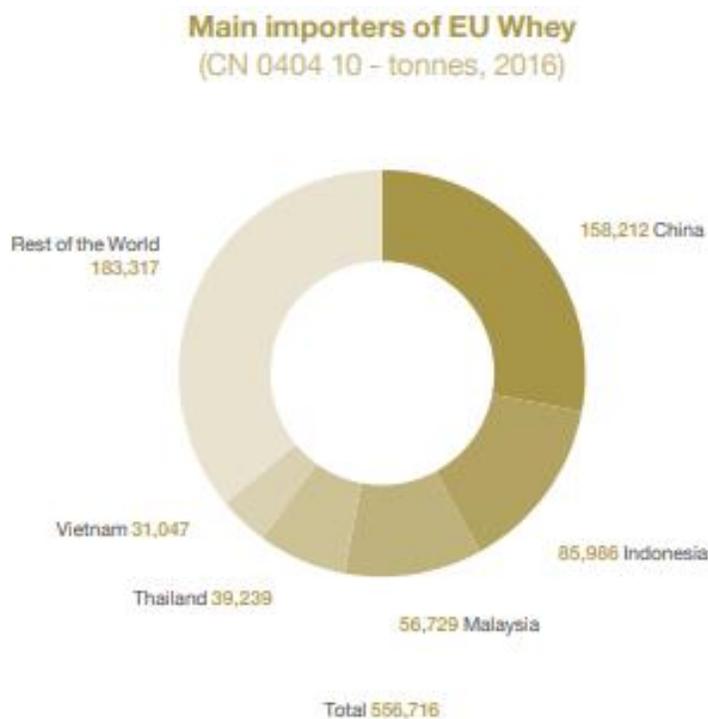
**Figura 46**

*Leche expulsada como suero luego de la fabricación de queso*



*Nota.* Representación esquemática de la leche expulsada como suero durante la fabricación del queso junto a su composición aproximada, siendo Milk: leche; cheese: queso; Sweet Whey: suero dulce; Water: Agua; lactose: Lactosa; Proteins: Proteínas; Minerals: Minerales; Minor components: Menores componentes; Fat: Grasa. Tomada de (Tsermoula et. al., 2021).

A nivel mundial el lactosuero es aprovechado por las empresas para la creación de nuevos productos con diferentes usos, los cuales se han explicado en el capítulo 2 del presente libro, además de nuevos productos también es comercializado como suero sólido para industrias de confitería, panadería y como ingrediente estrella de proteínas para deportistas entre otros. Según un informe de la asociación europea de productos lácteos entre el año 2019 y 2020 se mencionó que 1 kg de queso semi duro rinde 0,495 kg de suero sólido y 1 kg de queso fresco rinde 0,33kg de suero sólido, la unión europea es la numero uno en producción de queso a nivel global por ende es el mayor productor de lactosuero a nivel mundial. Desde la EU el lactosuero se exporta a muchos países asiáticos, en 2016 exporto más de 557 mil toneladas de lactosuero a nivel mundial (Figura 47) , en este mismo año china importo 158 mil toneladas del afluente provenientes de EU.(European Dairy Association, 2018).

**Figura 47***Principales importadores de lactosuero a nivel internacional*

*Nota.* Presenta los principales países importadores de lactosuero producido en la EU en el año 2016.

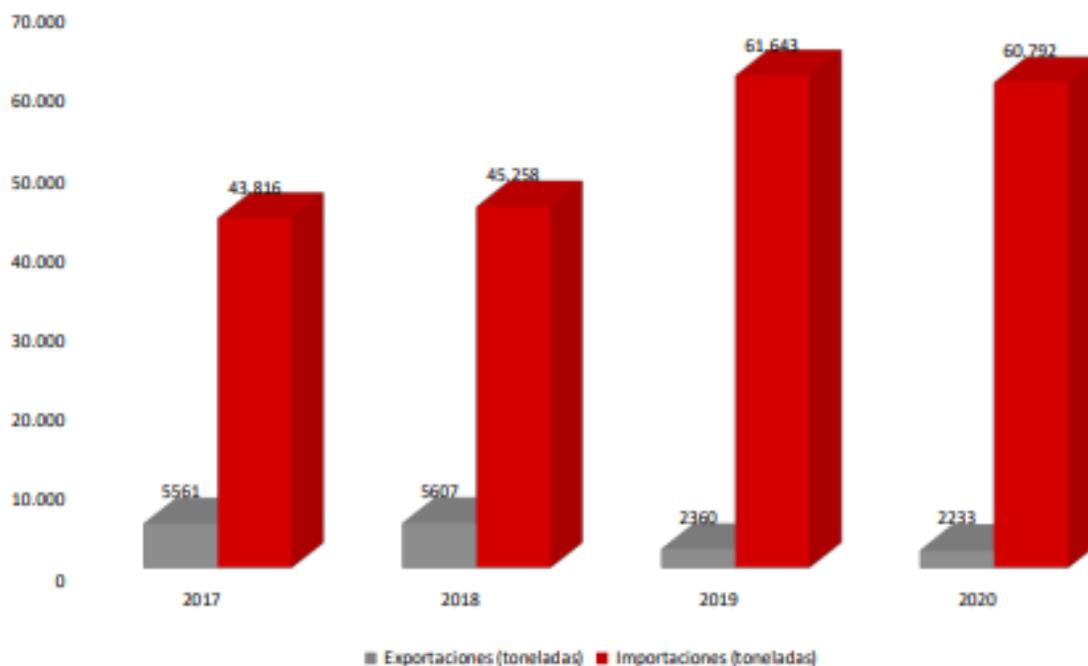
Forest, M. 2022 presenta informe del mercado global de fraccionamientos derivados del lactosuero segmentados por tipo aislados, concentrados e hidrolizados, el tamaño del mercado mundial de la proteína de suero fue de 7400 millones de USD en 2021 y para el periodo 2022-2027 se estima un crecimiento del 8,1% de tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR). Se espera un alto aumento en la industria alimentaria debido a la alta expansión de compra por este producto el cual beneficia la salud. En países como China, India, Indonesia y Brasil, se busca impulsar el crecimiento del mercado sobre las proteínas de suero. En América latina el mercado de las proteínas de suero tiene un diagnóstico de desarrollo de 7,5% CAGR durante el periodo de 2022-2026, luego de Brasil se señala que Argentina puede tener un potencial enorme en el crecimiento de la venta de productos fraccionados del lactosuero dado su recién crecimiento en

el mercado para fórmulas infantiles para bebés y panadería. Colombia no clasifica dentro de este informe por tener varias restricciones para suplir esta tendencia en el mercado, uno de sus grandes agravantes es la falta de administración y regulación sobre el uso del lactosuero.

En 2020 Colombia superó los 82 millones de dólares en importaciones de productos de la industria láctea y en exportaciones solo exportó 2 millones de dólares. Estas cantidades importadas son un 97% superiores a las exportadas lo que da a entender un desequilibrio en el comercio de la industria láctea. En la figura 48 se presenta el incremento constante que llegó a superar las 60 mil toneladas en el periodo de 2017 a agosto de 2020 y se presenta una reducción de importaciones desde 2018.

### Figura 48

*Exportaciones e importaciones de leche y derivados lácteos*

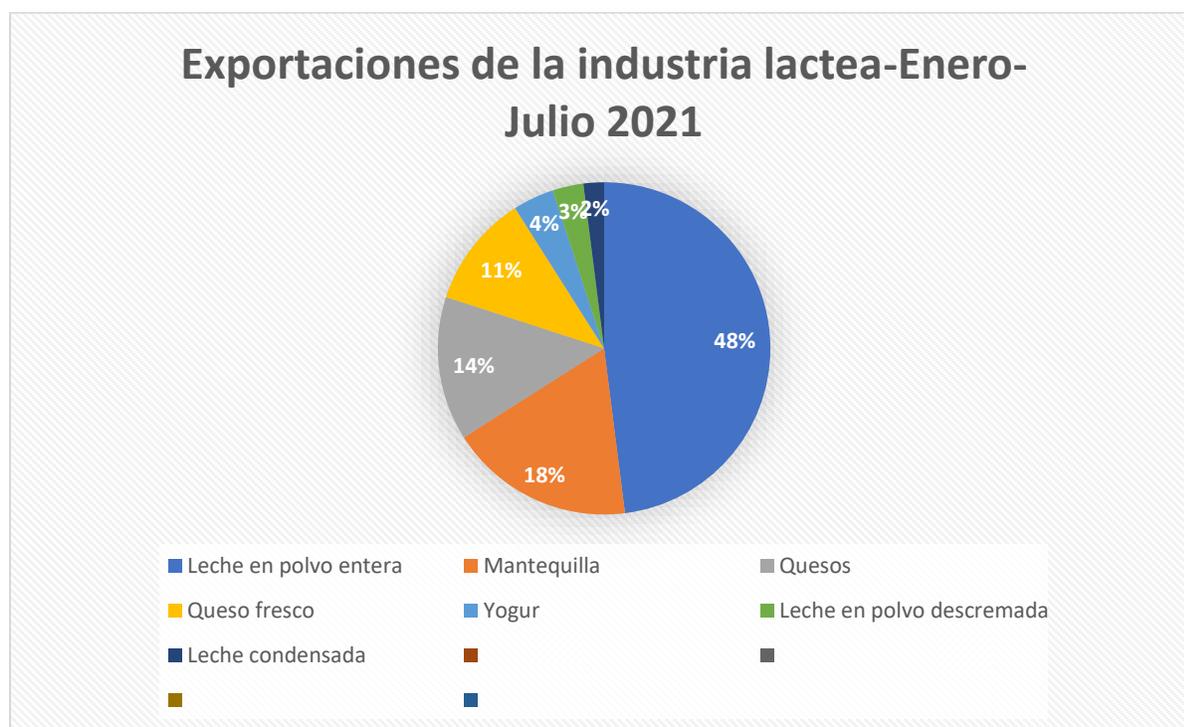


*Nota.* Presenta las importaciones y exportaciones de derivados lácteos desde 2017 hasta agosto de 2020.

La industria láctea de enero a julio de 2021 exportó 4508 toneladas equivalentes a 17,2 millones de dólares, lo que representa una cifra récord en los últimos cuatro años (figura 49), los productos que más exportó fueron leche en polvo entera con un, 48% (2315 ton); mantequilla, 16% (731 ton); los demás quesos, 14% (215ton); queso fresco, 11% (466 ton); yogur, 4% (310 ton); leche en polvo descremada, 3% (195 ton); y leche condensada 2 %, (136 ton). A pesar del alza en exportaciones de productos lácteos el país tiene el reto de la industrialización y tecnificación en la producción del lactosuero para incrementar las cifras de exportaciones.

### Figura 49

*Exportaciones de la industria láctea en un periodo de enero a julio de 2021*



**Nota.** Se presenta gráfico representativo de los productos lácteos más exportados en Colombia. Elaboración propia basada en datos de la investigación.

Contrario a las exportaciones las importaciones de productos lácteos esencialmente del afluyente salino son altas, la tasa de penetración de importaciones entre 2005 y 2009 fue del 1,2% (CONPES, 2012). Para el 2020 las importaciones de la industria láctea batieron récord teniendo

un crecimiento del 31% en producto y costo del 46% en relación al año 2019, 65 000 toneladas fueron importadas al país de las cuales un 16% correspondieron a lactosuero (Agricultura, 2020).

De acuerdo con el desarrollo de la investigación no se presentan valores exactos para los fraccionamientos derivados del lactosuero, se evidencia un gran potencial del crecimiento del uso del lactosuero en el mercado a nivel mundial y un reciente crecimiento en Latinoamérica, Colombia aún presenta casos exitosos en el mercado de los derivados de lactosuero.

Formalmente empresas a nivel nacional dan uso del aprovechamiento del lactosuero para la reutilización en sus procesos es el caso de Colanta, a nivel regional empresa dedicada a la producción de quesos en el municipio de Belén Boyacá vende el lactosuero por un valor de \$22 pesos Litro de suero y con la venta de este afluente salino costea gastos internos en su compañía, este es un claro ejemplo que se le pueden dar segundos usos al afluente y se contribuye económicamente en la solvencia de gastos dentro de las mismas productoras de este coproducto. El reto que enfrenta el país es grande y para solventarlo es importante que se genere interés en la industria láctea, también se requiere una mejor administración de parte del gobierno para la importación tecnológica que requiere la industria para el procesamiento de los derivados del lactosuero.

### **Aspecto Normativo**

En Colombia el uso del lactosuero en polvo como materia prima para consumo humano está reglamentado por la resolución 2997 del 2007; este documento indica los requisitos sanitarios y otras disposiciones afines. Es relevante mencionar que el artículo sexto de esta resolución fue modificado por la resolución 1031 de 2010, este último presenta los requisitos microbiológicos que deben cumplir actualmente los lactosueros en polvo (tabla 42).

**Tabla 42**

*Requisitos microbiológicos generales de los lactosueros.*

Criterios microbiológicos de rutina	n	m	M	c
Recuento total de microorganismos mesófilos/g	3	1000	10.000	1
Coliformes/g	3	Menor 10	...	0
<i>Escherichia coli</i> /g	3	Menor 10	....	0
<i>Staphylococcus aureus</i> /g	3	Menor 100	100	1
<i>Bacillus cereus</i> /g	3	Menor 100	100	1
Mohos y levaduras	3	100	1000	1
Salmonella/25g	3	0	...	0

Siendo

n: número de muestras a examinar

m: índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad

M: Índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad

c: Número de muestras permisibles con resultados entre m y M.

*Nota.* Presenta requisitos microbiológicos generales para el lactosuero. Fuente Resolución 1031 de 2010 del Ministerio de Protección Social.

La resolución 2310 de 1986 de derivados lácteos presenta también las características

fisicoquímicas del lactosuero líquido y en polvo, las cuales se presentan en la tabla 43.

**Tabla 43**

*Características del lactosuero líquido y en polvo*

	Líquido	Polvo
Acidez, como ácido láctico % m/m máximo	0,40	4,0
Cenizas % m/m, máximo	0,80	10
Lactosa m/m, mínimo	4,5	70,0
Sólidos totales % m/m mínimo	5,5	95,0
Proteínas % m/m, mínimo	0,7	12

*Nota.* Ilustra características del lactosuero líquido y en polvo presentes en normatividad colombiana. Fuente resolución 2310 de 1986

En la resolución 2310 de 1986 se encuentran las características microbiológicas presentadas para el suero en polvo (tabla 44).

**Tabla 44**

*Presenta características microbiológicas del suero en polvo*

	N	M	M	C
Recuento total de microorganismos mesofílicos g	3	10.000	30.000	1
NMP coliformes totales/g	3	3	11	1
NMP coliformes/fecales/g	3	<3	-	0
Hongos y levaduras /g	3	20	1.000	1

*Nota.* Presenta características microbiológicas del suero en polvo presentes en normatividad colombiana. Fuente (INVIMA, 1986).

El poder contaminante del suero de leche ha llevado a países como Estados Unidos, Canadá, Australia, Nueva Zelanda y la Unión Europea a introducir estricta legislación de protección del medio ambiente. Este marco legislativo está en contra de la eliminación inadecuada del suero y a favor de su reciclaje, esto llevo a la industria láctea a explorar otros enfoques y oportunidades para la gestión de los efluentes lácteos (Palmieri et. al., 2017)

En Colombia actualmente el INVIMA en junio del 2021, anuncio nuevas noticias respecto a la vigilancia y control sobre el uso de lactosueros en leche para consumo humano, el INVIMA logro implementar, validar y acreditar ante la ONAC una técnica analítica la cual permite identificar de manera precisa y confiable los niveles de lactosuero, luego de un análisis de varias muestras representativas de leche cruda y procesada se logró crear una línea base con un valor de referencia de 24 µg/ml (microgramos por mililitro) lo que permite avanzar de manera contundente en la vigilancia y control. A partir de los resultados obtenidos el INVIMA en conjunto con el Ministerio de Salud, están elaborando una formulación sobre la reglamentación sanitaria que de soporte sobre las labores de vigilancia y control y la aplicación de sanciones y demás medidas administrativas. (INVIMA, 2021)

En esta medida el INVIMA atiende de manera precisa una solicitud que varios interesados del sector productivo han requerido hace algún tiempo sobre la vigilancia y control del producto y de igual manera atendiendo directrices del gobierno nacional sobre el avance de la regularización del uso de lactosuero en leches para consumo humano. (INVIMA,2021)

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el trabajo que el INVIMA se encuentra desarrollando sobre la normatividad del lactosuero no va más allá de determinar normas para evaluar si a la leche se le agrega lactosuero, el INVIMA no se encuentra realizando normativas o regulaciones para el uso y aprovechamiento de este coproducto en la creación de productos a nivel nacional, por ende, su avance no es significativo y falta más interés de parte de esta entidad.

### **La opinión de los expertos**

El aprovechamiento del lactosuero en Colombia es muy deficiente dado que de parte de las entidades gubernamentales y normativas no hay una gestión más allá de la prohibición del uso del suero para el rendimiento de la leche, sin embargo existen algunas iniciativas del aprovechamiento del lactosuero las cuales se exponen en las entrevistas que se realizaron a dos expertos en el tema, el profesor Edison Bejarano experto en el aprovechamiento del lactosuero de la universidad nacional de Antioquia Zootecnista magister en ciencia y tecnología de alimentos, investigador y consultor experto en desarrollo de nuevos productos, profesor universitario en las áreas de industria alimentaria y conservación. La profesora María Ximena Quintanilla Carvajal, Doctora en Ciencias en Alimentos, del Instituto Politécnico Nacional. Pregrado de Ingeniería de Producción Agroindustrial, Universidad de La Sabana. Investigador Junior de Colciencias.

Las entrevistas realizadas se realizaron vía Google meet, con el fin de dar a conocer al lector como se puede aprovechar el lactosuero y como se encuentra Colombia en este campo, allí se compartieron las experiencias y se formularon preguntas con enfoque al aprovechamiento de este afluente salino a nivel nacional, dando fuerza a la presente monografía, Anexo 1 Evidencias.

También se exponen los puntos de vista del Dr. Jose Uriel Sepúlveda Director laboratorio productos lácteos Universidad Nacional Sede Medellín y profesor asociado universidad nacional de Colombia sede Medellín, presentados en su ponencia Valorización del Lactosuero, expuesta el 4 de noviembre del 2021, en el 4 congreso de Clúster Derivados Lácteos Colombia.

### ***¿La industria láctea en Colombia está aprovechando el lactosuero?***

(Bejarano, 2021), comenta que en Colombia las empresas grandes desde hace algunos años están avanzando respecto al tema de lactosuero, han adquirido la maquinaria necesaria para llevar a cabo el uso como coproducto y se está innovando en diferentes áreas. En Antioquia ya se ha aplicado una transformación del lactosuero usándolo en productos lácteos fermentados. El porcentaje de aprovechamiento del lactosuero es aproximadamente un 80% o más en las empresas grandes ya formalizadas y en una empresa pequeña se alcanza a llegar a un 10%. En general se aprovecha un 50 % de lo producido en las empresas lácteas. Mientras que Quintanilla, (2021) expone que en Colombia se está dando un gran aprovechamiento al suero dulce mientras que al suero ácido no, grandes empresas tienen la maquinaria e inversiones necesarias para este proceso, pero las pequeñas y medianas empresas desafortunadamente lo desechan o lo venden para alimento de animales. De acuerdo con su experiencia este suero ácido también puede ser usado en otras áreas solo se requiere de investigación, apoyo y avance en este tema.

Para J.Sepulveda (2021) la importancia de las proteínas que se encuentran en el lactosuero luego del proceso de elaboración del queso alcanzan un 100%, también se pueden encontrar cantidades considerables de carbohidratos, este coproducto puede ser usado en la elaboración de bebidas, edulcorantes y como compuesto bioactivo, ya que como se conoce al verterlo en acuíferos se producen daños ambientales, los datos nos comentan que al eliminar un litro de lactosuero se contamina una tonelada de agua.

***¿Qué tecnologías considera que son las más eficientes para el tratamiento del lactosuero en Colombia?***

Según (Bejarano, 2021) en Colombia no se han implementado las biotecnologías y tecnologías emergentes, esto se debe a que no se cuenta con el conocimiento y tecnologías necesaria para este proceso, por lo tanto, se sigue realizando el proceso de la manera tradicional como la filtración por membranas, nanofiltración y filtración esta última no solo sirve para el aprovechamiento del lactosuero también se usa en la producción de una leche de calidad. Empresas importantes tratan el lactosuero como una línea de producción por concentración selectiva y secado ya que estas tecnologías son aplicables a la industria colombiana. Quintanilla, (2021) considera que la ultrafiltración es clave para aprovechar realmente el lactosuero, estudios dicen que se puede hacer aprovechamiento sin la separación de los componentes principales, pero para aprovecharlo de la mejor manera y dar el valor significativo en la cadena de producción es importante la ultrafiltración. Otras tecnologías que ayudan a transformar estas fracciones son la ultrafiltración, la micro particulación o la micro fluidización.

***¿Cómo se encuentra Colombia referente al contexto internacional en cuanto a la aplicación de tecnologías convencionales e innovadoras para el aprovechamiento del lactosuero?***

(Bejarano, 2021) señala que Colombia presenta un gran problema dado que no es un país

que genere los equipos y la tecnología necesaria para el aprovechamiento por lo tanto se debe importar generando problemas en costo, capacidad de posventa, técnicos calificados para el mantenimiento de los equipos y más. Un industrial no asume riesgos para la aplicación de estas tecnologías. Solo la industria grande puede adquirir tecnologías novedosas en Colombia por sus costos y capacitación de personal especializado siendo muy contado su aplicación, por eso falta apoyo del gobierno para fomentar el desarrollo y aplicación de estas tecnologías.

En Colombia se aprovecha generalmente el 50% del lactosuero y su uso es muy básico como alimentación de cerdos, ganado bovino, fertilización de cultivos, utilización de suero para bebidas lácteas, yogures semidescremados entre otros.(Quintanilla, 2021)

***¿Cuáles considera que sean los obstáculos en Colombia para el aprovechamiento del lactosuero?***

(Bejarano, 2021) considera que uno de los grandes obstáculos es la falta de apoyo por parte del gobierno hacia la industria del lactosuero, dado que no brindan las herramientas, conocimiento y no hay una supervisión acertada para el aprovechamiento, sumándole a esto la falta de conocimiento de los industriales acerca del aprovechamiento del lactosuero de manera funcional y el miedo al enfrentarse a un área que no conocen los usos que se pueden dar al lactosuero.

De acuerdo con (Quintanilla, 2021) Colombia está atrasada ya que hay muchas compañías y PYMES (Pequeñas y Medianas Empresas) que producen suero de leche y no se cuenta con puntos de acopio estratégicos para la respectiva recolección y posterior transformación para reincorporarlo en las líneas de producción. Otro de los grandes obstáculos es

la infraestructura vial, las rutas y la comunicación para realizar la recolección del suero en lugares alejados, veredas donde el acceso es difícil.

*¿Qué empresas conoce usted que en Colombia están dando un aprovechamiento al lactosuero?*

En la entrevista (Bejarano, 2021) comenta que COLANTA es la empresa que en este momento se encuentra apostándole al lactosuero, dedicándose a aprovechar este subproducto, por medio de tecnologías como secado por aspersion, pulverización, filtración por membranas, esto con el objetivo de crear ingredientes derivados del lactosuero. El proceso de recolección se realiza a otras empresas las cuales no hacen su aprovechamiento de manera integral. LACSEC es una industria que también ha empezado a utilizar el lactosuero para valorizar el desarrollo de ingredientes viendo potencial de estas tecnologías para la concentración de proteínas.

Por otro lado, (Quintanilla, 2021) considera que Alpina y Colanta, como grandes compañías si dan aprovechamiento al lactosuero mientras que las PYMES no. De acuerdo con estudios el lactosuero se regala o se da para consumo de animales o se bota y no se aprovechan por falta de inversión, ya que es un proceso que debe ser manejado a gran escala.

Una posible solución que expone Quintanilla es la unión de productores para realizar la compra de los equipos y la tecnología y empezar con este proceso para que todos puedan dar un uso y transformación al lactosuero, esto genera un reto que es determinar qué tipo de suero llegue al centro de acopio porque son diferentes independiente que sea dulce o ácido, deben tener unos baches para homogenizar y procesar y evitar la proliferación de microorganismos.

En la opinión expresada por (Sepúlveda, J 2021) comenta que la empresa AURALAC con el apoyo de la universidad Nacional hacen la transformación de este coproducto por medio

de tecnologías como membranas, nanofiltración, osmosis inversa, microfiltración y ultrafiltración. El objetivo es que además de ser utilizado para alimentos de animales, también se use para llevar una alimentación saludable.

***¿La universidad donde labora que investigaciones se encuentra desarrollando para el aprovechamiento del lactosuero, como han vinculado a la comunidad?***

(Bejarano, 2021) expone que desde 2016 la Universidad Nacional maneja tecnologías de filtración y a partir del 2021 se generaron nuevos proyectos como el trabajo de doctorado del Doctor Edison Bejarano, basado en concentración de proteínas de lactosuero para microparticulación e inclusión de estas mismas en la elaboración del queso obteniendo mayores rendimientos del queso, aumento de la concentración de proteína del lactosuero. También se han realizado avances en el desarrollo de edulcorantes a partir de la lactosa aplicado en yogures y dulces de leche estudiando que niveles de inclusión y características sensoriales se tiene en el producto final. Desarrollo de péptidos bioactivos a partir del concentrado de proteínas de lactosuero obtenidas por filtración presentado como trabajo de doctorado por la profesional Sandra Zapata donde trabajo un proceso enzimático obteniendo péptidos que se caracterizaron como bioactivos los cuales tienen actividad anti hipertensiva y estimulante del sistema inmune teniendo como resultado a nivel internacional trabajos en desarrollo y otros en proceso trabajados en el laboratorio de productos lácteos de la Universidad Nacional en cabeza del doctor José Uriel Sepúlveda. Estos proyectos han sido cofinanciados por MINCIENCIAS, la Universidad y las empresas, de estos proyectos salen artículos para que la comunidad conozca y aproveche el lactosuero.

(Quintanilla, 2021) expone que en la Universidad de la Sabana se tienen varios trabajos de suero de leche, una línea de desarrollo de medios de cultivo para el crecimiento de

microorganismos probióticos que son benéficos para la salud, sobre todo los lactobacilos porque usan la lactosa como alimento para crecer y si se quiere utilizar el suero sin quitarle la lactosa para no implementar la ultrafiltración pues se deben pensar en usos donde sea valiosa la lactosa. También usan el suero como material para la creación de compuestos funcionales, aceites, vitaminas, compuestos más purificados, ya desglosando el alfa tocoferol o el ácido oleico también se está utilizando el suero para encapsular por diferentes tecnologías como secado por aspersión y por ventana refractiva. Estos proyectos involucran a la comunidad para realizar una caracterización del suero en empresas de la región por medio de la recolección de suero para demostrar el gran potencial. Actualmente se encuentran desarrollando un proyecto de regalías donde están diseñando probióticos para la producción de tilapia, donde está involucrada la comunidad, les van a dar muchos probióticos a empresas que tienen cultivos de tilapia para demostrarle que al darle el probiótico a esos animales se va a mejorar el crecimiento y la producción de tilapia, específicamente se trabaja en la región de la guajira este proyecto.

Sepúlveda. J, (2021) señala que la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín junto a otras universidades latinoamericanas desarrolló un proyecto para la utilización del lactosuero, esta propuesta se presentó al gobierno y al ministro de agricultura del país con el fin de aprovechar el suero en todos sus derivados. La Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín se encuentra desarrollando un proyecto para establecer como norma para quien deseché un litro de suero deba proporcionarle un porcentaje de dinero al estado o aprovecharlo en alimentación animal o aprovechamiento de sus componentes. Afirma que todos los empresarios deben aprovechar, concientizar lo que se está haciendo en sus empresas y adaptarse a tecnologías de membranas independientemente del tamaño de la producción.

Teniendo en cuenta lo expuesto por las opiniones de diferentes expertos que tienen conocimiento sobre el aprovechamiento del lactosuero, las tecnologías más comunes e indicadores de métodos actuales de desarrollo en el país son la de filtración por membranas, también las más óptimas para el aprovechamiento de los componentes de este residuo resultante de la elaboración de quesos, de esta tecnología se derivan la ultrafiltración, nanofiltración, microfiltración, ósmosis inversa y diafiltración las cuales son capaces de retener diversos componentes. Pocas compañías manejan a escala esta tecnología, empresas como Colanta, Alpina y Lacsec ya las trabajan. Como resultado de la presente investigación se puede concluir que aún falta implementación tecnológica en empresas medianas y pequeñas Quintanilla, 2021 expuso en la entrevista que el gran problema de estas medianas y pequeñas empresas es su poca producción de lactosuero, no alcanza a llevarse a una planta piloto para el aprovechamiento del afluente salino, por otro lado, Sepúlveda 2021- expone que independientemente del tamaño de producción se deben aplicar tecnologías de membranas. Así como es poca la implementación de la tecnología también es interesante conocer como dos de las opiniones de expertos dan a conocer que se está haciendo para mejorar el manejo del lactosuero, por un lado, la norma que llegase a obligar a las empresas a darle uso obligatorio del lactosuero y por otro lado como se puede mejorar la producción de la tilapia a través del lactosuero.

Para fines de la investigación Colombia aún es un país tercermundista sobre el aprovechamiento del lactosuero, hace falta apoyo gubernamental con tecnología, maquinaria y conocimiento sobre la producción de este coproducto. Las empresas medianas y pequeñas se suelen ir por el camino más fácil como lo es el desperdicio del afluente salino resultante de la elaboración del queso. Es esencial regular normas que contribuyan con el mejoramiento de la producción del lactosuero, es muy triste conocer la situación de un país con gran producción de

lactosuero y a la vez una gran pérdida económica al no tener el alcance un manejo adecuado del subproducto.

### **Reflexión personal**

Actualmente la industria láctea en Colombia no aprovecha el uso del lactosuero adecuadamente, se presentan un sinnúmero de desventajas al compararlo con diferentes países a nivel mundial, siendo un país productor de lactosuero se desconoce el manejo que se le puede dar, desde el gobierno y la academia hace falta sensibilización. Se requiere de una normatividad que apruebe su uso para la creación de otros productos, inversión en tecnología y conocimiento para los industriales que producen este afluente. De acuerdo con la investigación presentada existen muchos usos que se le pueden dar desde la producción de productos alimenticios como otros productos a nivel industrial como químicos de limpieza, biocombustibles entre otros.

Es triste conocer que un país productor del afluente sea importador del mismo y que cada año tenga una creciente la importación de este, como estudiante la transmisión de este conocimiento es importante dado que se tiene la comprensión de comunicar la información. Al no tener la sensatez de un manejo correcto se está causando un daño ambiental al verterlo en fuentes hídricas y suelos, no son aprovechados sus nutrientes como proteínas, materia grasa y lactosa. Dentro de sus proteínas la lactoalbúmina cumple una función importante en el organismo del ser humano siendo una de las principales proteínas que requiere el organismo para un adecuado funcionamiento; esto solo es una mención de todo el potencial que se está perdiendo al no aprovecharlo.

Existen excepciones con su uso como por ejemplo al utilizarlo como alimentación de animales, es algo que desde hace muchos años se ha hecho, pero no se evoluciona para transformarlo en otros productos, también se rescata lo que han desarrollado algunas universidades como la sabana, la Universidad Nacional, la UNAD entre otras donde de alguna

manera contribuyen con la concientización sobre el beneficio y el correcto manejo que se le puede dar al lactosuero.

Es importante llevar un mensaje al industrial que tenga en cuenta la pérdida económica que está teniendo, puede que vea normal el desperdicio del lactosuero dado que nada lo obliga a evitar el vertimiento o a darle un manejo adecuado, tampoco conoce el beneficio que le traería; por este motivo es muy importante invitar al Gobierno Nacional e entidades involucradas para que gestione y legislen un uso correcto del lactosuero y que se concienticen que es un coproducto, que exijan al industrial grande o pequeño a dar un manejo con una normatividad y una ley de por medio, esto podría llevar a una decreciente de importaciones del lactosuero y una creciente exportación del mismo la cual beneficiaría a muchos productores en Colombia teniendo en cuenta que aproximadamente el 70% de los departamentos del país son productores de leche y sus derivados específicamente del lactosuero porque al producir quesos, yogur griego y requesón se está produciendo lactosuero.

## Conclusiones

Las investigaciones descritas en el primer capítulo visualizan una conceptualización acerca del suero, tipos, dulce, ácido y salado que se encuentran hoy, indicando la descripción de cada uno de ellos y el valioso aprovechamiento que se le puede dar al lactosuero, como producto a nivel industrial para la creación de nuevos productos alimenticios, como: etanol, productos de limpieza, empaques, producción de hidrógeno, mejoramiento de bebidas fermentadas, producción de lipasas y material encapsulante para aceites, lo que demuestra la gran versatilidad de investigaciones realizadas para el aprovechamiento de este subproducto de manera funcional.

A pesar de que la obtención del lactosuero se da a partir de la elaboración de diferentes productos como quesos o yogures, cada tipo de suero presenta diferentes desafíos para la industria láctea en la creación de nuevos productos, esto en función de la completa composición química que presenta.

Se necesita que la industria láctea y la academia sigan ampliando el conocimiento en la aplicación de nuevos usos para el lactosuero; de esta manera se puede sensibilizar y se crea conciencia de su aprovechamiento para controlar el impacto negativo sobre los componentes del medio ambiente y la gestión de las empresas lácteas.

Se concluye que las tecnologías emergentes son excelentes sustitutos de tratamientos y métodos convencionales, se encuentran relacionadas entre sí, es decir que tienen relación una con la otra para ser aplicadas sobre el lactosuero. Actualmente se han generado nuevas investigaciones que buscan cambiar técnicas y métodos aplicadas al afluente salino, con el

objetivo de que sus características organolépticas y nutricionales permanezcan en los productos y no permitir mayores alteraciones.

Se concluye que las investigaciones realizadas sobre la aplicación de tecnologías emergentes en el tratamiento del lactosuero son excelente sustituto de las convencionales demostrando un gran potencial para controlar los diferentes procedimientos como de extracción, homogenización, entre otros-

El capítulo dos aporta un análisis bibliográfico donde se analiza que además de generar tecnologías para la aplicación del lactosuero, también se generan métodos para la utilización de nuevos procesos como por ejemplo incorporarlos para la encapsulación de alimentos.

En el capítulo tres se puede observar un marco sobre el impacto del lactosuero a nivel nacional, como influye el crecimiento de la producción en los últimos años a nivel social, aún existe un gran porcentaje de compañías informales que no conoce el manejo adecuado de este afluente salino y de allí derivan los impactos ambientales negativos y económicos al no tener el conocimiento y las herramientas necesarias para su aprovechamiento.

En Colombia hace falta ayuda gubernamental con respecto a la normatividad que incentive a la comunidad de la industria láctea, para aprovechar los beneficios que tiene el lactosuero no solo a nivel alimenticio si no industrial. Fomentar nuevas regulaciones donde permitan su aplicación aportando con la economía del país.

La opinión de los expertos da una referencia de la situación nacional, donde se engloban los diferentes contextos y proporcionan al lector una advertencia sobre el manejo que se le está

dando al lactosuero, de qué manera se puede contribuir con su aprovechamiento y los beneficios que aporta el afluente.

Con este trabajo otros estudiantes de la universidad y en general de otras universidades pueden tener una referencia de los nuevos productos que se pueden crear no solo a nivel de la industria alimentaria sino también de la industria general, brinda información para que los industriales que buscan una forma de aprovechamiento de lactosuero tengan conocimiento básico de las tecnologías que se pueden utilizar y lleguen a profundizar según la técnica que más les llame la atención. Incentiva a la creación de nuevos proyectos de inversión, ambientales entre otros para el crecimiento de la comunidad en general.

### **Recomendaciones**

Una vez concluida la presente monografía, se pone a consideración del lector y a la comunidad educativa de la UNAD a indagar más sobre la creación de nuevos productos generados por el lactosuero, realizando investigaciones por medio de los grupos de investigación de la universidad.

Con base al aporte bibliográfico, se recomienda a los estudiantes de la UNAD a motivar a los industriales del país, por medio de la transmisión de información sobre los beneficios que tiene el aprovechamiento del lactosuero y los impactos que tendría su adaptación en el mercado nacional e internacional.

## Referencias

- Adolfo, R., & Huertas, P. (2009). Lactosuero: Importancia En La Industria De Alimentos Whey: Importance in the Food Industry. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1), 4967–4982.
- Agricultura, M. (2020). *En 2020 ya se batió el récord en importaciones de lácteos con más de 65 000 toneladas*. Contexto Ganadero.
- Amaral, G. V., Silva, E. K., Costa, A. L. R., Alvarenga, V. O., Cavalcanti, R. N., Esmerino, E. A., Guimarães, J. T., Freitas, M. Q., Sant’Ana, A. S., Cunha, R. L., Moraes, J., Silva, M. C., Meireles, M. A. A., & Cruz, A. G. (2018). Whey-grape juice drink processed by supercritical carbon dioxide technology: Physical properties and sensory acceptance. *Lwt*, 92(February), 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.005>
- Ambrosi, V., Polenta, G., Gonzalez, C., Ferrari, G., & Maresca, P. (2016). High hydrostatic pressure assisted enzymatic hydrolysis of whey proteins. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38, 294–301. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.05.009>
- Anal, A. K., & Singh, H. (2007). Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. *Trends in Food Science and Technology*, 18(5), 240–251. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.01.004>
- Artemi, A., Chen, G. Q., Kentish, S. E., & Lee, J. (2020). Pilot scale concentration of cheese whey by forward osmosis: A short-cut method for evaluating the effective pressure driving force. *Separation and Purification Technology*, 250(November 2019), 117263. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117263>

- Asas, C., Llanos, C., Matavaca, J., & Verdezoto, D. (2021). 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>
- Asunis, F., De Gioannis, G., Dessì, P., Isipato, M., Lens, P. N. L., Muntoni, A., Poletini, A., Pomi, R., Rossi, A., & Spiga, D. (2020). The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorisation. *Journal of Environmental Management*, *276*(August), 111240. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111240>
- Avila, R. M., Cárdenas, A. R., & Medina, A. L. (2000). Tratamiento del lactosuero utilizando la técnica de electrodiálisis. *Interciencia*, *25*(2), 80–84.
- Bejarano, E. (2021). *Entrevista Dr. Edison Bejarano*. [https://drive.google.com/file/d/1w0V210JyVhwj5-x0BYH2AbJycEIKfK\\_d/view?ts=61727a51](https://drive.google.com/file/d/1w0V210JyVhwj5-x0BYH2AbJycEIKfK_d/view?ts=61727a51)
- Bentahar, J., Doyen, A., Beaulieu, L., & Deschênes, J. S. (2019). Acid whey permeate: An alternative growth medium for microalgae *Tetrademus obliquus* and production of  $\beta$ -galactosidase. *Algal Research*, *41*(May), 101559. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101559>
- Bermúdez Martínez, B. (2019). *Diseño preliminar de un sistema de desproteinización de lactosuero usando membranas de ultrafiltración, a partir de un modelamiento matemático*.
- Blaschek, K. M., Wendorff, W. L., & Rankin, S. A. (2007). Survey of salty and sweet whey composition from various cheese plants in Wisconsin. *Journal of Dairy Science*, *90*(4), 2029–2034. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-770>

- Bu, T., Zhou, M., Zheng, J., Yang, P., Song, H., Li, S., & Wu, J. (2020). Preparation and characterization of a low-phenylalanine whey hydrolysate using two-step enzymatic hydrolysis and macroporous resin adsorption. *Lwt*, *132*(July), 109753. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109753>
- Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M., & Scher, J. (2011). Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. *Journal of Food Engineering*, *104*(4), 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031>
- Bustamante, S. Z., González, J. G., Sforza, S., & Tedeschi, T. (2021). Bioactivity and peptide profile of whey protein hydrolysates obtained from Colombian double-cream cheese production and their products after gastrointestinal digestion. *Lwt*, *145*(March). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111334>
- Cappato, L. P., Ferreira, M. V. S., Guimaraes, J. T., Portela, J. B., Costa, A. L. R., Freitas, M. Q., Cunha, R. L., Oliveira, C. A. F., Mercali, G. D., Marzack, L. D. F., & Cruz, A. G. (2017). Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. *Trends in Food Science and Technology*, *62*, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.010>
- Cappato, Leandro P., Ferreira, M. V. S., Moraes, J., Pires, R. P. S., Rocha, R. S., Silva, R., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Freitas, M. Q., Rodrigues, F. N., Calado, V. M. A., Raices, R. S. L., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2018). Whey acerola-flavoured drink submitted Ohmic Heating: Bioactive compounds, antioxidant capacity, thermal behavior, water mobility, fatty acid profile and volatile compounds. *Food Chemistry*, *263*(February), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.115>
- Carter, B. G., Cheng, N., Kapoor, R., Meletharayil, G. H., & Drake, M. A. (2021). Invited

- review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk. *Journal of Dairy Science*, 104(3), 2465–2479. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18811>
- Carulla Fornaguera, J., & Ortega García, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83–87.
- Carullo, D., Barbosa-Cánovas, G. V., & Ferrari, G. (2021). Changes of structural and techno-functional properties of high hydrostatic pressure (HHP) treated whey protein isolate over refrigerated storage. *Lwt*, 137(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110436>
- Casanova, F., Nascimento, L. G. L., Silva, N. F. N., de Carvalho, A. F., & Gaucheron, F. (2021). Interactions between caseins and food-derived bioactive molecules: A review. *Food Chemistry*, 359(April). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129820>
- Castells, M. L., González, M., Mattos, C., Juliano, P., Mellinger, C., Sepulveda, J. U., Jorcín, S., Krolow, A. C., Di Risio, J., & López, T. (2017). Valorización del lactosuero. In *Alternativas de valorización de sueros de quesería*.  
file:///C:/Users/User01/Downloads/lactosuero.pdf%0Ahttps://www.inti.gob.ar/lacteos/pdf/lactosuero.pdf
- Chen, G. Q., Talebi, S., Gras, S. L., Weeks, M., & Kentish, S. E. (2018). A review of salty waste stream management in the Australian dairy industry. *Journal of Environmental Management*, 224(July), 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.056>
- Chen, X., Chen, G. Q., Wang, Q., Xu, T., & Kentish, S. E. (2020). Transforming salty whey into cleaning chemicals using electrodialysis with bipolar membranes. *Desalination*, 492(April), 114598. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114598>

- Cheng, Y., Donkor, P. O., Ren, X., Wu, J., Agyemang, K., Ayim, I., & Ma, H. (2019). Effect of ultrasound pretreatment with mono-frequency and simultaneous dual frequency on the mechanical properties and microstructure of whey protein emulsion gels. *Food Hydrocolloids*, 89(October 2018), 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.007>
- Chiriguya, K. kasandra M. C. y K. J. M. (2017). *Efecto del calentamiento ohmico*. 93(I), 259.
- Coimbra, L. O., Vidal, V. A. S., Silva, R., Rocha, R. S., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Granato, D., Freitas, M. Q., Pollonio, M. A. R., Esmerino, E. A., & Cruz, A. G. (2020a). Are ohmic heating-treated whey dairy beverages an innovation? Insights of the Q methodology. *Lwt*, 134(July). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110052>
- Coimbra, L. O., Vidal, V. A. S., Silva, R., Rocha, R. S., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Granato, D., Freitas, M. Q., Pollonio, M. A. R., Esmerino, E. A., & Cruz, A. G. (2020b). Are ohmic heating-treated whey dairy beverages an innovation? Insights of the Q methodology. *Lwt*, 134(June). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110052>
- Costa, N. R., Cappato, L. P., Pereira, M. V. S., Pires, R. P. S., Moraes, J., Esmerino, E. A., Silva, R., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Freitas, M. Q., Silveira Júnior, R. N., Rodrigues, F. N., Bisaggio, R. C., Cavalcanti, R. N., Raices, R. S. L., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2018a). Ohmic Heating: A potential technology for sweet whey processing. *Food Research International*, 106(November 2017), 771–779. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.046>
- Costa, N. R., Cappato, L. P., Pereira, M. V. S., Pires, R. P. S., Moraes, J., Esmerino, E. A., Silva, R., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Freitas, M. Q., Silveira Júnior, R. N., Rodrigues, F. N., Bisaggio, R. C., Cavalcanti, R. N., Raices, R. S. L., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2018b).

- Ohmic Heating: A potential technology for sweet whey processing. *Food Research International*, 106(January), 771–779. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.046>
- Cruz Diaz, K., Cobos, Á., Fernández-Valle, M. E., Díaz, O., & Cambero, M. I. (2019). Characterization of edible films from whey proteins treated with heat, ultrasounds and/or transglutaminase. Application in cheese slices packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 22(July), 100397. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100397>
- Cui, F., McClements, D. J., Liu, X., Liu, F., & Ngai, T. (2022). Development of pH-responsive emulsions stabilized by whey protein fibrils. *Food Hydrocolloids*, 122(March 2021), 107067. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107067>
- Damar, I., Cinar, K., & Gulec, H. A. (2020). Concentration of whey proteins by ultrafiltration: Comparative evaluation of process effectiveness based on physicochemical properties of membranes. *International Dairy Journal*, 111, 104823. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104823>
- De Castro-Cislaghi, F. P., Silva, C. D. R. E., Fritzen-Freire, C. B., Lorenz, J. G., & Sant'Anna, E. S. (2012). Bifidobacterium Bb-12 microencapsulated by spray drying with whey: Survival under simulated gastrointestinal conditions, tolerance to NaCl, and viability during storage. *Journal of Food Engineering*, 113(2), 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.006>
- de la Rosa, O., & Angulo, L. M. (2011). TRES TIPOS DE INTERACCIÓN (3TI) EN EL APRENDIZAJE EN LÍNEA DE CAPACIDADES CURRICULARES Y DIDÁCTICAS (CCDs) DEL PROFESORADO DEL SISTEMA EDUCATIVO DE ISLAS CANARIAS. *Educación XXI*, 14(2), 19–42. <https://doi.org/10.5944/EDUCXX1.14.2.234>

- de Sousa, M. A., Muller, M. P., Berghahn, E., de Souza, C. F. V., & Granada, C. E. (2020). New enterococci isolated from cheese whey derived from different animal sources: High biotechnological potential as starter cultures. *Lwt*, *131*(July).  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109808>
- 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>
- Decana, P. (2019). *Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ingeniería Industrial Unidad de Posgrado Proceso de plasma frío a baja presión y su influencia en el nivel de contaminación al realizar la limpieza de láminas metálicas TESIS Para optar el Grado Académi.*
- Dereli, R. K., van der Zee, F. P., Ozturk, I., & van Lier, J. B. (2019). Treatment of cheese whey by a cross-flow anaerobic membrane bioreactor: Biological and filtration performance. *Environmental Research*, *168*(May 2018), 109–117.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.021>
- Ding, J., You, S., Ba, W., Zhang, H., Chang, H., Qi, W., Su, R., & He, Z. (2021). Bifunctional utilization of whey powder as a substrate and inducer for  $\beta$ -farnesene production in an engineered *Escherichia coli*. *Bioresource Technology*, *341*(July), 125739.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125739>
- Dufton, G., Mikhaylin, S., Gaaloul, S., & Bazinet, L. (2018). How electro dialysis configuration influences acid whey deacidification and membrane scaling. *Journal of Dairy Science*,

101(9), 7833–7850. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14639>

Eckert, C., Serpa, V. G., Felipe dos Santos, A. C., Marinês da Costa, S., Dalpubel, V., Lehn, D.

N., & Volken de Souza, C. F. (2017). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 through spray drying and using dairy whey as wall materials. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.045>

Espinosa, Susana Beatriz Fernandez, M., & Cravero, R. (2020). *Recuperación y valorización de lactosuero en PYMES de la cuenca láctea argentina , a través.*

Espinoza, H., Garcia, E., & Gastélum, E. (2017). *ÁCIDOS GRASOS : CLASIFICACIÓN E IMPORTANCIA EN LA SALUD HUMANA* Editores : H . Espinosa Andrews . E . Gastélum Martínez . (Issue December).

European Dairy Association. (2018). *European Dairy Association - Economic Report 2017/18*. 12.

Farrokhi, F., Badii, F., Ehsani, M. R., & Hashemi, M. (2020). Effect of pH-dependent fibrillar structure on enzymatic hydrolysis and bioactivity of nanofibrillated whey protein. *Lwt*, 131(March), 109709. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109709>

Faucher, M., Perreault, V., Ciftci, O. N., Gaaloul, S., & Bazinet, L. (2021). Phospholipid recovery from sweet whey and whey protein concentrate: Use of electrodialysis with bipolar membrane combined with a dilution factor as an ecoefficient method. *Future Foods*, 4(February), 100052. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100052>

Faucher, M., Perreault, V., Gaaloul, S., & Bazinet, L. (2020). Defatting of sweet whey by electrodialysis with bipolar membranes: Effect of protein concentration factor. *Separation*

*and Purification Technology*, 251(March), 117248.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117248>

Felix da Silva, D., Ahrné, L., Larsen, F. H., Hougaard, A. B., & Ipsen, R. (2018). Physical and functional properties of cheese powders affected by sweet whey powder addition before or after spray drying. *Powder Technology*, 323, 139–148.

<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.10.014>

Ferreira, M., Cappato, L., Silva, R., Rocha, R., Neto, R., Tavares, M. I., Esmerino, E., Freitas, M., Bissagio, R., Ranadheera, S., Raices, R., Silva, M., & Cruz, A. (2019). Processing raspberry-flavored whey drink using ohmic heating: Physical, thermal and microstructural considerations. *Food Research International*, 123(April), 20–26.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.045>

Ferreira, M. V. S., Cappato, L. P., Silva, R., Rocha, R. S., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Bissagio, R. C., Ranadheera, S., Raices, R. S. L., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2019). Processing raspberry-flavored whey drink using ohmic heating: Physical, thermal and microstructural considerations. *Food Research International*, 123(February), 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.045>

Ferreira, S., Machado, L., Pereira, R. N., Vicente, A. A., & Rodrigues, R. M. (2021). Unraveling the nature of ohmic heating effects in structural aspects of whey proteins – The impact of electrical and electrochemical effects. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 74(September), 102831. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102831>

Figueroa, O. A., Peñaloza, S. P., Mejía, E. E., & Zapata, J. E. (2020). Effect of the enzyme-substrate relationship on the enzymatic hydrolysis of bovine whey by Alcalasa® 2.4L.

*Informacion Tecnologica*, 31(3), 3–12. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300003>

Fischer, C., & Kleinschmidt, T. (2021a). Synthesis of galactooligosaccharides by *Cryptococcus laurentii* and *Aspergillus oryzae* using different kinds of acid whey. *International Dairy Journal*, 112, 104867. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104867>

Fischer, C., & Kleinschmidt, T. (2021b). Valorisation of sweet whey by fermentation with mixed yoghurt starter cultures with focus on galactooligosaccharide synthesis. *International Dairy Journal*, 119, 105068. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105068>

Forest, M. 2022. Informe de mercado global Proteína de suero. *Market Forest Data*  
<https://www.marketdataforecast.com/market-reports/whey-protein-market>

Gamlath, C. J., Leong, T. S. H., Ashokkumar, M., & Martin, G. J. O. (2020). Incorporating whey protein aggregates produced with heat and ultrasound treatment into rennet gels and model non-fat cheese systems. *Food Hydrocolloids*, 109(May), 106103.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106103>

Gasc, A., B, A. N., B, S. S., Fr, T., Steven, D., Moreira, S. D. S. L. S., França, A. C., Rocha, W. W., Tibães, E. S. R., Júnior, E. N., Martins, S. C. V. C. V., Araújo, W. L., Tohge, T., Fernie, A. R., DaMatta, F. M. F. F. M. F. M. F. M. F. M. F. M., Hibberd, J. M., Weber, A. P. M., Tokumura, M., Ohta, A., ... Suleria, R. (2018). No . *Photosynthetica*, 2(1), 1–13.

Ghosh, P., & Chandra Pradhan, R. (2021). Exposition on History and Potential of Supercritical Fluid Processing. *Innovative Food Processing Technologies*, 515–521.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22929-6>

Gomes, J. V. P., de Oliveira, L. A., Pereira, S. M. S., da Conceição, A. R., Anunciação, P. C., de

Souza, E. C. G., Perrone, Í. T., da Silva Junqueira, M., Pinheiro Sant'Ana, H. M., & Della Lucia, C. M. (2021). Comparison of bioactive compounds and nutrient contents in whey protein concentrate admixture of turmeric extract produced by spray drying and foam mat drying. *Food Chemistry*, 345(December 2020).

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128772>

Gómez-Narváez, F., Contreras-Calderón, J., & Pérez-Martínez, L. (2019). Usefulness of some Maillard reaction indicators for monitoring the heat damage of whey powder under conditions applicable to spray drying. *International Dairy Journal*, 99.

<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104553>

Gong, W., Guo, X. lu, Huang, H. bo, Li, X., Xu, Y., & Hu, J. N. (2021). Structural characterization of modified whey protein isolates using cold plasma treatment and its applications in emulsion oleogels. *Food Chemistry*, 356(March).

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129703>

Gonzales, A. (2020). Cadena láctea Colombiana. *Analisis Situacional Cadena Láctea*, 122.

Grace, M. H., Hoskin, R., Xiong, J., & Lila, M. A. (2021a). Whey and soy proteins as wall materials for spray drying rosemary: Effects on polyphenol composition, antioxidant activity, bioaccessibility after in vitro gastrointestinal digestion and stability during storage.

*Lwt*, 149(March), 111901. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111901>

Grace, M. H., Hoskin, R., Xiong, J., & Lila, M. A. (2021b). Whey and soy proteins as wall materials for spray drying rosemary: Effects on polyphenol composition, antioxidant activity, bioaccessibility after in vitro gastrointestinal digestion and stability during storage.

*Lwt*, 149(June), 111901. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111901>

- Haribabu, M., Dunstan, D. E., Martin, G. J. O., Davidson, M. R., & Harvie, D. J. E. (2020). Simulating the ultrafiltration of whey proteins isolate using a mixture model. *Journal of Membrane Science*, *613*(March), 118388. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118388>
- Hermosa, P. (2021). *Últimos Avances En El Tratamiento De Suero Lácteo Con Tecnología De Membranas. Figura 1, 2–3.*
- Hernández Miranda, J., Soto Simental, S., Quintero Lira, A., & Piloni Martini, J. (2020). Usos y propiedades del Lactosuero. *Boletín de Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, *6*(12), 15–17. <https://doi.org/10.29057/icap.v6i12.5926>
- Hinnenkamp, C., Reineccius, G., & Ismail, B. P. (2021). Efficient encapsulation of fish oil: Capitalizing on the unique inherent characteristics of whey cream and hydrolyzed whey protein. *Journal of Dairy Science*, *104*(6), 6472–6486. <https://doi.org/10.3168/JDS.2020-19880>
- Hirsch, D. B., Martínez Álvarez, L. M., Urtasun, N., Baieli, M. F., Lázaro-Martínez, J. M., Glisoni, R. J., Miranda, M. V., Cascone, O., & Wolman, F. J. (2020). Lactoferrin purification and whey protein isolate recovery from cheese whey using chitosan mini-spheres. *International Dairy Journal*, *109*. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104764>
- Ho, T. M., Zhu, J., Bansal, N., Boyce, M. C., & Le, T. T. (2021). Effect of pH and heat treatment on physicochemical and functional properties of spray-dried whey protein concentrate powder. *International Dairy Journal*, *119*, 105063. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105063>
- Iglesias-Iglesias, R., Portela-Grandío, A., Treu, L., Campanaro, S., Kennes, C., & Veiga, M. C. (2021). Co-digestion of cheese whey with sewage sludge for caproic acid production: Role

of microbiome and polyhydroxyalkanoates potential production. *Bioresource Technology*, 337, 125388. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125388>

Islam, M. Z., Tabassum, S., Harun-ur-Rashid, M., Vegarud, G. E., Alam, M. S., & Islam, M. A. (2021). Development of probiotic beverage using whey and pineapple (*Ananas comosus*) juice: Sensory and physico-chemical properties and probiotic survivability during in-vitro gastrointestinal digestion. *Journal of Agriculture and Food Research*, 4(March), 100144. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100144>

Israni, N., Venkatachalam, P., Gajaraj, B., Varalakshmi, K. N., & Shivakumar, S. (2020). Whey valorization for sustainable polyhydroxyalkanoate production by *Bacillus megaterium*: Production, characterization and in vitro biocompatibility evaluation. *Journal of Environmental Management*, 255(August 2019), 109884. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109884>

Kadyan, S., Rashmi, H. M., Pradhan, D., Kumari, A., Chaudhari, A., & Deshwal, G. K. (2021). Effect of lactic acid bacteria and yeast fermentation on antimicrobial, antioxidative and metabolomic profile of naturally carbonated probiotic whey drink. *Lwt*, 142(February), 111059. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111059>

Khair, R. A., Sunny, A. A., & Gogate, P. R. (2019). Ultrasound assisted ultrafiltration of whey using dual frequency ultrasound for intensified recovery of lactose. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 142(April), 107581. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.107581>

Knob, A., Izidoro, S. C., Lacerda, L. T., Rodrigues, A., & de Lima, V. A. (2020). A novel lipolytic yeast *Meyerozyma guilliermondii*: Efficient and low-cost production of acid and

promising feed lipase using cheese whey. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 24(February). <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101565>

Kononiuk, A. D., & Karwowska, M. (2020a). Comparison of selected parameters related to food safety of fallow deer and beef uncured fermented sausages with freeze-dried acid whey addition. *Meat Science*, 161(July 2019). <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108015>

Kononiuk, A. D., & Karwowska, M. (2020b). Influence of freeze-dried acid whey addition on biogenic amines formation in a beef and deer dry fermented sausages without added nitrite. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(2), 332–338. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0011>

Kravtsov, V., Kulikova, I., Mikhaylin, S., & Bazinet, L. (2020). Alkalinization of acid whey by means of electrodialysis with bipolar membranes and analysis of induced membrane fouling. *Journal of Food Engineering*, 277(March 2019), 109891. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109891>

La, D. D. E., Trabajo, M., & Grado, D. E. F. I. N. D. E. (2013). *Trabajo fin de grado en biología*. 1–5.

Lawton, M. R., deRiancho, D. L., & Alcaine, S. D. (2021). Lactose utilization by *Brettanomyces claussenii* expands potential for valorization of dairy by-products to functional beverages through fermentation. *Current Opinion in Food Science*, 42, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.05.006>

Lesme, H., Alleaume, C., Bouhallab, S., Famelart, M. H., Marzin, C., Lopez-Torres, L., Prost, C., & Rannou, C. (2020). Aroma-retention capacities of functional whey protein aggregates: Study of a strawberry aroma in solutions and in fat-free yogurts. *Food Research*

*International*, 136(June), 109491. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109491>

Leylak, C., Özdemir, K. S., Gurakan, G. C., & Ogel, Z. B. (2021). Optimisation of spray drying parameters for *Lactobacillus acidophilus* encapsulation in whey and gum Arabic: Its application in yoghurt. *International Dairy Journal*, 112.

<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104865>

Li, H., Liu, T., Zou, X., Yang, C., Li, H., Cui, W., & Yu, J. (2021). Utilization of thermal-denatured whey protein isolate-milk fat emulsion gel microparticles as stabilizers and fat replacers in low-fat yogurt. *Lwt*, 150(June), 112045.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112045>

Liao, X., Liu, D., Xiang, Q., Ahn, J., Chen, S., Ye, X., & Ding, T. (2017). Inactivation mechanisms of non-thermal plasma on microbes: A review. *Food Control*, 75, 83–91.

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.12.021>

Liu, Y., Kang, N., Cheng, H., Chu, X., Sun, Z., & Xi, C. (2021a). Preparation and characterization of whey protein isolate nanoparticles in supercritical CO<sub>2</sub>. *Lwt*, 144(October 2020), 111227. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111227>

Liu, Y., Kang, N., Cheng, H., Chu, X., Sun, Z., & Xi, C. (2021b). Preparation and characterization of whey protein isolate nanoparticles in supercritical CO<sub>2</sub>. *Lwt*, 144(March), 111227. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111227>

Lopez, L. M. (2019). *Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ingeniería Industrial Unidad de Posgrado Proceso de plasma frío a baja presión y su influencia en el nivel de contaminación al realizar la limpieza de láminas metálicas TESIS Para optar el Grado Académi.*

- Lorenzetti, A., Penha, F. M., Cunha Petrus, J. C., & Rezzadori, K. (2020). Low purity enzymes and ultrasound pretreatment applied to partially hydrolyze whey protein. *Food Bioscience*, 38(February). <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100784>
- Louasté, B., & Eloutassi, N. (2020). Succinic acid production from whey and lactose by *Actinobacillus succinogenes* 130Z in batch fermentation. *Biotechnology Reports*, 27, 23–27. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00481>
- Lv, P., Wang, D., Dai, L., Wu, X., Gao, Y., & Yuan, F. (2020). Pickering emulsion gels stabilized by high hydrostatic pressure-induced whey protein isolate gel particles: Characterization and encapsulation of curcumin. *Food Research International*, 132(October 2019), 109032. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109032>
- Maciel, G. M., Chaves, K. S., Grosso, C. R. F., & Gigante, M. L. (2014). Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* La-5 by spray-drying using sweet whey and skim milk as encapsulating materials. *Journal of Dairy Science*, 97(4), 1991–1998. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7463>
- Maciel, K. S., Santos, L. S., Bonomo, R. C. F., Verissimo, L. A. A., Minim, V. P. R., & Minim, L. A. (2020). Purification of lactoferrin from sweet whey using ultrafiltration followed by expanded bed chromatography. *Separation and Purification Technology*, 251(June), 117324. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117324>
- Maleki, O., Khaledabad, M. A., Amiri, S., Asl, A. K., & Makouie, S. (2020). Microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469 in whey protein isolate-crystalline nanocellulose-inulin composite enhanced gastrointestinal survivability. *Lwt*, 126(March), 109224. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109224>

- Mano, J., Liu, N., Hammond, J. H., Currie, D. H., & Stephanopoulos, G. (2020). Engineering *Yarrowia lipolytica* for the utilization of acid whey. *Metabolic Engineering*, 57(July 2019), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2019.09.010>
- Marciniak, A., Suwal, S., Touhami, S., Chamberland, J., Pouliot, Y., & Doyen, A. (2020). Production of highly purified fractions of  $\alpha$ -lactalbumin and  $\beta$ -lactoglobulin from cheese whey using high hydrostatic pressure. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 7939–7950. <https://doi.org/10.3168/JDS.2019-17817>
- Masum, A. K. M., Huppertz, T., Chandrapala, J., Adhikari, B., & Zisu, B. (2020). Physicochemical properties of spray-dried model infant milk formula powders: Influence of whey protein-to-casein ratio. *International Dairy Journal*, 100, 104565. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104565>
- Matijašić, B. B., Oberčkal, J., Lorbeg, P. M., Paveljšek, D., Skale, N., Kolenc, B., Gruden, Š., Ulrih, N. P., Kete, M., & Justin, M. Z. (2020). Characterisation of lactoferrin isolated from acid whey using pilot-scale monolithic ion-exchange chromatography. *Processes*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/pr8070804>
- Mazorra, M. A., & Moreno, J. 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>
- Meena, S., Prasad, W., Khamrui, K., Mandal, S., & Bhat, S. (2021). Preparation of spray-dried curcumin microcapsules using a blend of whey protein with maltodextrin and gum arabica and its in-vitro digestibility evaluation. *Food Bioscience*, 41(March), 100990. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100990>

- Meng, Y., Hao, L., Tan, Y., Yang, Y., Liu, L., Li, C., & Du, P. (2021). Noncovalent interaction of cyanidin-3-O-glucoside with whey protein isolate and  $\beta$ -lactoglobulin: Focus on fluorescence quenching and antioxidant properties. *Lwt*, *137*(September 2020), 110386. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110386>
- Meng, Y., Liang, Z., Zhang, C., Hao, S., Han, H., Du, P., Li, A., Shao, H., Li, C., & Liu, L. (2021). Ultrasonic modification of whey protein isolate: Implications for the structural and functional properties. *Lwt*, *152*(August), 112272. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112272>
- Merkel, A., Ashrafi, A. M., & Ečer, J. (2018). Bipolar membrane electrodialysis assisted pH correction of milk whey. *Journal of Membrane Science*, *555*(December 2017), 185–196. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.03.035>
- Michel, C., Samtlebe, M., Wagner, N., Neve, H., Franz, C. M. A. P., Hinrichs, J., & Atamer, Z. (2021). Orthogonal processing strategies to create “phage-free” whey – Membrane filtration followed by thermal or ultraviolet C treatment for the reduction of *Lactococcus lactis* bacteriophages. *International Dairy Journal*, *122*, 105149. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105149>
- Misra, N. N., Patil, S., Moiseev, T., Bourke, P., Mosnier, J. P., Keener, K. M., & Cullen, P. J. (2014). In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. *Journal of Food Engineering*, *125*(1), 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.023>
- Mizrach, A. (2008). Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes. *Postharvest Biology and Technology*, *48*(3), 315–330. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.10.018>
- Moghbeli, S., Jafari, S. M., Maghsoudlou, Y., & Dehnad, D. (2020). A Taguchi approach

- optimization of date powder production by spray drying with the aid of whey protein-pectin complexes. *Powder Technology*, 359, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.013>
- Monroy Pedraza, N. (2020). Propuesta preliminar de diseño para un sistema de separación de proteínas del lactosuero usando ultrafiltración. *Universidad de La Salle, Ciencia Unisalle*, 109.
- More, Y. J. (2019). “Caracterización del zumo turbio de limón obtenido mediante la esterilización por altas presiones hidrostáticas en la empresa AGROINDUSTRIAS AIB S.A. Motupe Lambayeque-2019.” *Ucv*, 0–116.
- Negri Rodríguez, L. M. (2021). *Elaboración de zumos pasteurizados mediante tratamiento térmico convencional y calentamiento óhmico a partir de zanahoria de descartes*.
- Ng, S. W., Lu, P., Rulikowska, A., Boehm, D., O’Neill, G., & Bourke, P. (2021). The effect of atmospheric cold plasma treatment on the antigenic properties of bovine milk casein and whey proteins. *Food Chemistry*, 342(March 2020), 128283. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128283>
- Nielsen, E. N., Merkel, A., Yazdi, S. R., & Ahrné, L. (2021). The effect of acid whey composition on the removal of calcium and lactate during electro dialysis. *International Dairy Journal*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.104985>
- Nishanthi, M., Vasiljevic, T., & Chandrapala, J. (2017). Properties of whey proteins obtained from different whey streams. *International Dairy Journal*, 66, 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.11.009>
- Nolasco, I. (2019). *Estudio del efecto de la velocidad y la presión transmembrana en el Flux*

*másico en la ultrafiltración de suero de leche.*

Ordoñez, S. L. B. (2013). *La Universidad Católica de Loja*. 105.

Palmieri, N., Forleo, M. B., & Salimei, E. (2017). Environmental impacts of a dairy cheese chain including whey feeding: An Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 881–889. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.185>

Para, P., Acompañamiento, E. L., Lácteos, D. E. C., & Vargas, A. (2020). *INFORME FINAL*.

Parra Huertas, R. A. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, *62*(1), 4967–4982.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.04.011>

Pereira, Ricardo N., Rodrigues, R. M., Altinok, E., Ramos, Ó. L., Xavier Malcata, F., Maresca, P., Ferrari, G., Teixeira, J. A., & Vicente, A. A. (2017). Development of iron-rich whey protein hydrogels following application of ohmic heating – Effects of moderate electric fields. *Food Research International*, *99*(January), 435–443.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.023>

Pereira, Ricardo Nuno, Teixeira, J. A., Vicente, A. A., Cappato, L. P., da Silva Ferreira, M. V., da Silva Rocha, R., & da Cruz, A. G. (2018). Ohmic heating for the dairy industry: a potential technology to develop probiotic dairy foods in association with modifications of whey protein structure. *Current Opinion in Food Science*, *22*, 95–101.  
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.014>

Pimentel-González, D. J., Campos-Montiel, R. G., Lobato-Calleros, C., Pedroza-Islas, R., & Vernon-Carter, E. J. (2009). Encapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* in double emulsions

formulated with sweet whey as emulsifier and survival in simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International*, 42(2), 292–297.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.12.002>

Pinto, S. S., Verruck, S., Vieira, C. R. W., Prudêncio, E. S., Amante, E. R., & Amboni, R. D. M. C. (2015). Influence of microencapsulation with sweet whey and prebiotics on the survival of Bifidobacterium-BB-12 under simulated gastrointestinal conditions and heat treatments. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 1004–1009.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.020>

Pires, R. P. S., Guimarães, J. T., Barros, C. P., Balthazar, C. F., Chinha, A. I. A., Freitas, M. Q., Duarte, M. C. K. H., Silva, P. H. F., Pimentel, T. C., Abud, Y. K. D., Sant'Anna, C., Sant'Ana, A. S., Silva, M. C., Nascimento, J. S., & Cruz, A. G. (2021). Ohmic heating increases inactivation and morphological changes of Salmonella sp. and the formation of bioactive compounds in infant formula. *Food Microbiology*, 97(January).

<https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103737>

Posada David, L. R. (2016). Nanofiltración en el manejo del lactosuero. *Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 10–25. <https://doi.org/10.22507/jet.v5n2a4>

Prabhuzantye, T., Khaire, R. A., & Gogate, P. R. (2019). Enhancing the recovery of whey proteins based on application of ultrasound in ultrafiltration and spray drying. *Ultrasonics Sonochemistry*, 55, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.008>

Price, J. (2018). History of the development and application of whey protein products. In *Whey Proteins: From Milk to Medicine*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00002-3>

- Quintanilla, X. (2021). *Entrevista Dra Ximena Quintanilla (2021-11-05 at 07:54 GMT-7) - Google Drive*.  
[https://drive.google.com/file/d/1ynsmCBbg92UfeF\\_jiA5BZ4ncMfAzxZbG/view](https://drive.google.com/file/d/1ynsmCBbg92UfeF_jiA5BZ4ncMfAzxZbG/view)
- Ramírez-Navas, J. S., Solís-Carvajal, C. A., & Vélez, C. A. (2018). Las proteínas y su importancia. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 52.
- Ramirez Navas, J. (2006). Liofilización de los alimentos. *Revista RECITEIA*, 6(2).
- Rammer, P., Groth-Pedersen, L., Kirkegaard, T., Daugaard, M., Rytter, A., Szyniarowski, P., Høyer-Hansen, M., Povlsen, L. K., Nylandsted, J., Larsen, J. E., & Jäätelä, M. (2010). BAMLET activates a lysosomal cell death program in cancer cells. *Molecular Cancer Therapeutics*, 9(1), 24–32. <https://doi.org/10.1158/1535-7163.MCT-09-0559>
- Ramos Robles, M. D. (2015). Proceso de Haber-Bosch. Síntesis de amoníaco. *Moleqla. Revista de Ciencias de La Universidad Pablo de Olavide.*, 17, 22–24.
- Ranadheera, C. S., Liyanaarachchi, W. S., Chandrapala, J., Dissanayake, M., & Vasiljevic, T. (2016). Utilizing unique properties of caseins and the casein micelle for delivery of sensitive food ingredients and bioactives. *Trends in Food Science and Technology*, 57, 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.005>
- 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>
- Republica, L. (2021). *Colanta, Alpina y Nestlé, las empresas de lácteos y derivados más vendedoras de 2020*.

Ribeiro, K. C. S., Coutinho, N. M., Silveira, M. R., Rocha, R. S., Arruda, H. S., Pastore, G. M., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Pimentel, T. C., Silva, P. H. F., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Silva, M. C., Duarte, M. C. K. H., & Cruz, A. G. (2021). Impact of cold plasma on the techno-functional and sensory properties of whey dairy beverage added with xylooligosaccharide. *Food Research International*, 142(August 2020).

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110232>

Ribeiro Sanches, M. A., Camelo-Silva, C., da Silva Carvalho, C., Rafael de Mello, J., Barroso, N. G., Lopes da Silva Barros, E., Silva, P. P., & Pertuzatti, P. B. (2021). Active packaging with starch, red cabbage extract and sweet whey: Characterization and application in meat. *Lwt*, 135(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110275>

Robles-Azuna, L. E., & Ochoa-Martínez, L. A. (2012). Disponible en:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81325441002>. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13(2), 109–122.

Rocha Mendoza, D., Kosmerl, E., Krentz, A., Zhang, L., Badgier, S., Miyagusuku, G., Mayta, A., Giiusti, M., Jimenez, R., & Garcia, I. (2021). Invited review: Acid whey trends and health benefits. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1262–1275.

<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19038>

Rosolen, M. D., Bordini, F. W., de Oliveira, P. D., Conceição, F. R., Pohndorf, R. S., Fiorentini, Â. M., da Silva, W. P., & Pieniz, S. (2019). Symbiotic microencapsulation of *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* R7 using whey and inulin by spray drying. *Lwt*, 115(January), 108411.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108411>

Ruano Uscategui, D. C., Ciro Velásquez, H. J., & Sepúlveda Valencia, J. U. (2018).

Concentrates of sugarcane juice and whey protein: Study of a new powder product obtained by spray drying of their combinations. *Powder Technology*, 333, 429–438.

<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.04.025>

Ruttarattanamongkol, K., Nor Afizah, M., & Rizvi, S. S. H. (2015). Stability and rheological properties of corn oil and butter oil emulsions stabilized with texturized whey proteins by supercritical fluid extrusion. *Journal of Food Engineering*, 166, 139–147.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.005>

Sajad, S., Karimi, K., & Taherzadeh, M. J. (2021). Valorization of vinasse and whey to protein and biogas through an environmental fungi-based biorefinery. *Journal of Environmental Management*, August, 114138. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114138>

Sandoval-Cuellar, C. E., de Jesus Perea-Flores, M., & Quintanilla-Carvajal, M. X. (2020). In-vitro digestion of whey protein- and soy lecithin-stabilized High Oleic Palm Oil emulsions. *Journal of Food Engineering*, 278(October 2019), 109918.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109918>

Schmidt, C. M., Balinger, F., Conrad, J., Günther, J., Beifuss, U., & Hinrichs, J. (2020).

Enzymatic generation of lactulose in sweet and acid whey: Optimization of feed composition and structural elucidation of 1-lactulose. *Food Chemistry*, 305(May 2019),

125481. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125481>

Schmidt, C. M., Nedele, A. K., & Hinrichs, J. (2020). Enzymatic generation of lactulose in sweet and acid whey: Feasibility study for the scale up towards robust processing. *Food and Bioproducts Processing*, 119, 329–336. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.11.015>

Sebastián, M., & Solis, A. (2020). *etanol y su uso en cervezas y bebidas saborizadas Revisión de*

*Literatura Fermentación de lactosuero para la obtención de etanol y su uso en cervezas y bebidas saborizadas Revisión de Literatura.*

- Segat, A., Misra, N. N., Cullen, P. J., & Innocente, N. (2015). Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of whey protein isolate model solution. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 247–254. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.03.014>
- Setiowati, A. D., Wijaya, W., & Van der Meeren, P. (2020). Whey protein-polysaccharide conjugates obtained via dry heat treatment to improve the heat stability of whey protein stabilized emulsions. *Trends in Food Science and Technology*, 98(February), 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.011>
- Silva, E. K., Guimarães, J. T., Costa, A. L. R., Cruz, A. G., & Meireles, M. A. A. (2019). Non-thermal processing of inulin-enriched soursop whey beverage using supercritical carbon dioxide technology. *Journal of Supercritical Fluids*, 154, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104635>
- Silveira, M. R., Coutinho, N. M., Esmerino, E. A., Moraes, J., Fernandes, L. M., Pimentel, T. C., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Raices, R. S. L., Senaka Ranadheera, C., Borges, F. O., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Fernandes, F. A. N., Fonteles, T. V., Nazzaro, F., Rodrigues, S., & Cruz, A. G. (2019). Guava-flavored whey beverage processed by cold plasma technology: Bioactive compounds, fatty acid profile and volatile compounds. *Food Chemistry*, 279(October 2018), 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.128>
- Skryplonek, K., Dmytrów, I., & Mituniewicz-Małek, A. (2019). Probiotic fermented beverages based on acid whey. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7773–7780. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16385>

- Sprick, B., Linghu, Z., Amamcharla, J. K., Metzger, L. E., & Smith, J. S. (2019). Selective extraction of phospholipids from whey protein phospholipid concentrate using supercritical carbon dioxide and ethanol as a co-solvent. *Journal of Dairy Science*, *102*(12), 10855–10866. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16419>
- Stout, M. A., Park, C. W., & Drake, M. A. (2017). The effect of bleaching agents on the degradation of vitamins and carotenoids in spray-dried whey protein concentrate. *Journal of Dairy Science*, *100*(10), 7922–7932. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12929>
- Talebi, S., Chen, G. Q., Freeman, B., Suarez, F., Freckleton, A., Bathurst, K., & Kentish, S. E. (2019). Fouling and in-situ cleaning of ion-exchange membranes during the electro dialysis of fresh acid and sweet whey. *Journal of Food Engineering*, *246*(April 2018), 192–199. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.010>
- Talebi, S., Kee, E., Chen, G. Q., Bathurst, K., & Kentish, S. E. (2019). Utilisation of salty whey ultrafiltration permeate with electro dialysis. *International Dairy Journal*, *99*, 104549. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104549>
- Terpiłowski, K., Tomczyńska-Mleko, M., Nishinari, K., & Mleko, S. (2017). Surface properties of ion-induced whey protein gels deposited on cold plasma treated support. *Food Hydrocolloids*, *71*, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.032>
- Trejo, A., Onrubia, M., Pintado, C., Ferro, S., & Investigaciones, C. De. (n.d.). *MANUAL PRÁCTICO DE*. 1–17.
- Tsermoula, P., Khakimov, B., Nielsen, J. H., & Engelsen, S. B. (2021). WHEY - The waste-stream that became more valuable than the food product. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.025>

- Urtasun, N., Mignon, A., Martínez-Alvarez, L. M., Baieli, M. F., Hirsch, D. B., Cascone, O., Dubruel, P., & Wolman, F. J. (2021). Synthesis and characterization of chitosan mini-spheres with immobilized dye as affinity ligand for the purification of lactoperoxidase and lactoferrin from dairy whey. *Separation and Purification Technology*, 255(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117700>
- Vanden Braber, N. L., Díaz Vergara, L. I., Rossi, Y. E., Aminahuel, C. A., Mauri, A. N., Cavaglieri, L. R., & Montenegro, M. A. (2020). Effect of microencapsulation in whey protein and water-soluble chitosan derivative on the viability of the probiotic *Kluyveromyces marxianus* VM004 during storage and in simulated gastrointestinal conditions. *Lwt*, 118(October 2019), 108844. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108844>
- Vargas, S. A., Delgado-Macuil, R. J., Ruiz-Espinosa, H., Rojas-López, M., & Amador-Espejo, G. G. (2021). High-intensity ultrasound pretreatment influence on whey protein isolate and its use on complex coacervation with kappa carrageenan: Evaluation of selected functional properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70(September 2020), 105340. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105340>
- Viorica, R. P., Pawel, P., & Boguslaw, B. (2021). Use of *Lactobacillus paracasei* isolated from whey for silver nanocomposite synthesis: Antiradical and antimicrobial properties against selected pathogens. *Journal of Dairy Science*, 104(3), 2480–2498. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19049>
- Viswanathan, M. B., Price, N., Wang, T., & Clark, S. (2021). Process scale-up and techno-economic analysis of phospholipid extraction from a dairy byproduct (whey protein phospholipid concentrate). *Journal of Dairy Science*, 104(8), 8610–8617.

<https://doi.org/10.3168/JDS.2020-19397>

Wahyuni, D. S. (2020). No Title. *SELL Journal*, 5(1), 55.

Wang, Q., Chen, G. Q., & Kentish, S. E. (2020). Isolation of lactoferrin and immunoglobulins from dairy whey by an electrodialysis with filtration membrane process. *Separation and Purification Technology*, 233(June 2019), 115987.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115987>

Wong, N. P., LaCroix, D. E., & McDonough, F. E. (1978). Minerals in Whey and Whey Fractions. *Journal of Dairy Science*, 61(12), 1700–1703. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(78\)83790-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(78)83790-4)

Worsztynowicz, P., Białas, W., & Grajek, W. (2020). Integrated approach for obtaining bioactive peptides from whey proteins hydrolysed using a new proteolytic lactic acid bacteria. *Food Chemistry*, 312(December 2019), 126035. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126035>

Wu, G., Hui, X., Liang, J., Liu, H., Chen, H., Gong, X., Brennan, M. A., Zeng, X. A., Guo, X., & Brennan, C. S. (2021). Combination of rehydrated whey protein isolate aqueous solution with blackcurrant concentrate and the formation of encapsulates via spray-drying and freeze-drying: Alterations to the functional properties of protein and their anticancer properties. *Food Chemistry*, 355(March), 129620.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129620>

Xia, J., He, J., Xu, J., Liu, X., Qiu, Z., Xu, N., & Su, L. (2021). Direct conversion of cheese whey to polyamic acid by mixed culture of *Aureobasidium pullulans* and permeabilized *Kluyveromyces marxianus*. *Bioresource Technology*, 337, 125443.

<https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.125443>

- Zerva, A., Limnaios, A., Kritikou, A. S., Thomaidis, N. S., Taoukis, P., & Topakas, E. (2021). A novel thermophile  $\beta$ -galactosidase from *Thermothielavioides terrestris* producing galactooligosaccharides from acid whey. *New Biotechnology*, *63*(March), 45–53.  
<https://doi.org/10.1016/j.nbt.2021.03.002>
- Zhang, L., Xiao, Q., Wang, Y., Hu, J., Xiong, H., & Zhao, Q. (2021). Effects of sequential enzymatic hydrolysis and transglutaminase crosslinking on functional, rheological, and structural properties of whey protein isolate. *Lwt*, *153*(August 2021), 112415.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112415>
- Zhao, C., & Ashaolu, T. J. (2020). Bioactivity and safety of whey peptides. *Lwt*, *134*(July), 109935. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109935>
- Zhao, W., Shu, Q., He, G., & Qihe, C. (2020a). Reducing antigenicity of bovine whey proteins by *Kluyveromyces marxianus* fermentation combined with ultrasound treatment. *Food Chemistry*, *311*(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125893>
- Zhao, W., Shu, Q., He, G., & Qihe, C. (2020b). Reducing antigenicity of bovine whey proteins by *Kluyveromyces marxianus* fermentation combined with ultrasound treatment. *Food Chemistry*, *311*(September 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125893>
- 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*(159), 70–76.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.10.001>
- Zieliński, M., Korzeniewska, E., Filipkowska, Z., Dębowski, M., Harnisz, M., & Kwiatkowski, R. (2017). Biohydrogen production at low load of organic matter by psychrophilic bacteria.

*Energy*, 134, 1132–1139. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.119>

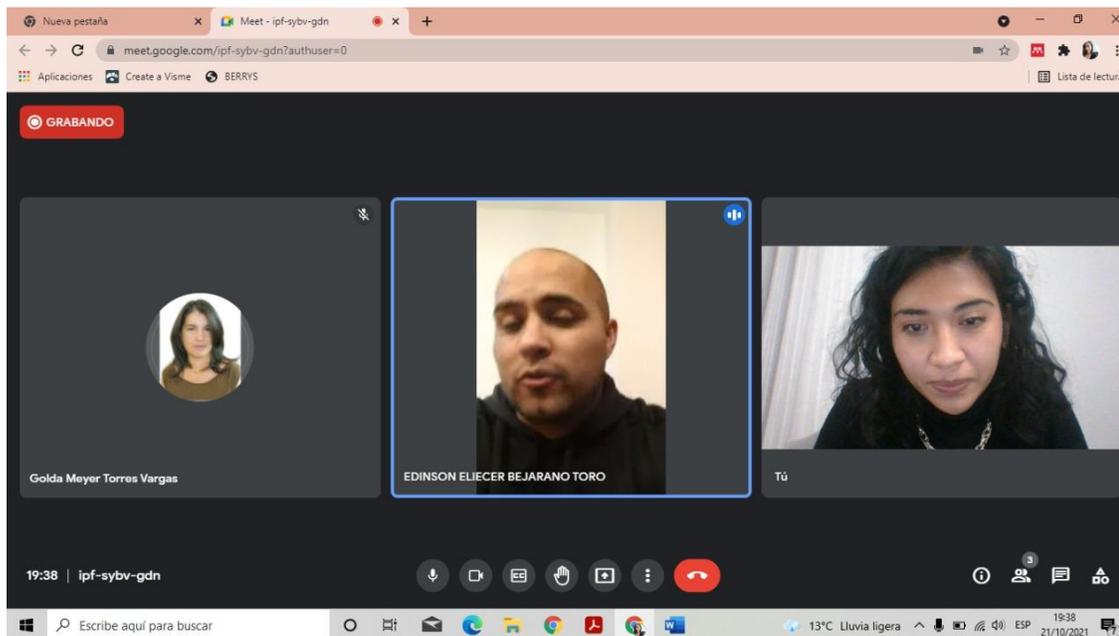
Zotta, T., Solieri, L., Iacumin, L., Picozzi, C., & Gullo, M. (2020). Valorization of cheese whey using microbial fermentations. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(7), 2749–2764. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10408-2>

X.Quintanilla. comunicaciones Personales ( 6 de noviembre de 2021)

## Apéndice

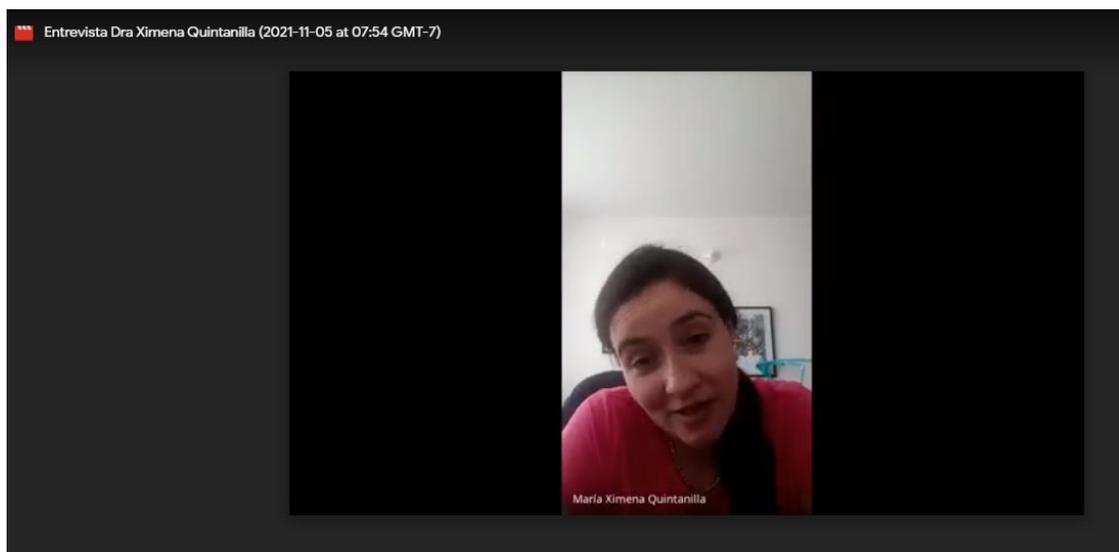
### Apéndice A

Entrevista 21 de octubre de 2021, Dr Edison Bejarano



### Apéndice B

Entrevista Dra Ximena Quintanilla, 6 de noviembre de 2021



## Apéndice C resumen analítico RAE

<b>1. IDENTIFICACION DEL ARTICULO</b>
<b>Título:</b> Revisión bibliográfica de los avances tecnológicos e ingenieriles sobre el aprovechamiento del lactosuero.
<b>Autores:</b> Yesica Paola Castro Avendaño
<b>Publicado en:</b>
<b>Fecha de publicación:</b> 01/03/2022
<b>Producido por:</b>

<b>2. RESUMEN.</b>
<p>La presente monografía se deriva del proyecto de investigación PG-19 de la convocatoria interna 008 denominado “ Viabilidad técnico-ingenieril a escala piloto para la valorización del suero ácido, derivado de la elaboración del queso doble crema en las empresas lácteas del municipio de Belén (Boyacá) y tiene como fin exponer a partir de la revisión de la literatura científica un análisis argumentativo sistemático, comparativo, crítico y reflexivo de la gestión tecnológica e ingenieril tanto internacional y nacional sobre el aprovechamiento del lactosuero para considerarlo como un coproducto para la creación de diversos productos, los cuales en muchos países del mundo ya son comercializados y han generado impactos positivos en la economía.</p> <p>La monografía se desarrollará en cinco (5) etapas a saber: Etapa 1: Inicio: Revisión de la disponibilidad de bases de datos institucionales; etapa 2. Desarrollo del Capítulo 1. Referentes teóricos; etapa 3. Desarrollo capítulo 2 Tecnologías convencionales y emergentes para la recuperación y aprovechamiento del lactosuero en el escenario internacional y nacional; Etapa 4. Desarrollo capítulo 3. Análisis de los aspectos que condiciona el valor agregado del lactosuero en el escenario internacional y nacional; Etapa 5: Sustentación de los resultados de la monografía.</p>

<b>3. PALABRAS CLAVE</b>
Suero, aprovechamiento lactosuero, valorización lactosuero, gestión lactosuero, subproducto, coproducto.

<b>4. PROBLEMA DE INVESTIGACION</b>
Actualmente en Colombia y en muchos países de Latinoamérica se presenta una problemática para la

industria láctea dado que no es aprovechado el lactosuero resultante la producción de Quesos duros y semi duros , yogurt griego y requesón el cual contiene crecientemente el 25% de las proteínas de la leche, 8% de materia grasa y alrededor del 95% de la lactosa lo que implica que al menos el 50% (en peso ) de los nutrientes provenientes que contiene la leche y quedan en el lactosuero (Castells et al., 2017). La industria láctea genera una gran cantidad de desechos sólidos y líquidos a partir de la producción de sus derivados. El aumento en la demanda de productos lácteos a nivel mundial ha llevado al enorme crecimiento del sector lácteo lo que repercute a una mayor liberación de sustancias toxicas en la reserva de agua o de tierra (Wahyuni, 2020) , se ha luchado para encontrar una aplicación económica y sostenible sobre todo en los países de Latinoamérica donde muchas veces la falta de conocimiento sobre los productos que se pueden producir por este coproducto a nivel industrial. Por tal motivo en la presente propuesta de monografía se trazan los siguientes planteamientos:

¿La revisión exhaustiva del estado del arte permite compilar información sobre las metodologías, técnicas y tecnologías innovadoras y emergentes que se han desarrollado y aplicado a nivel internacional y nacional para el aprovechamiento del lactosuero?

¿A partir de la revisión de la literatura científica se puede realizar un análisis argumentativo sobre los contextos socio-económicos, normativos y tecnológicos que condicionan el aprovechamiento del lactosuero en el escenario internacional y nacional?.

## 5. OBJETIVOS

### GENERAL:

Realizar un análisis sistemático, comparativo, crítico y reflexivo sobre la información obtenida de fuentes primarias y secundarias acerca de la visión actual de la gestión del lactosuero para la conversión de un subproducto a coproducto.

### ESPECIFICOS:

Interpretar la literatura científica para compilar información sobre procedimientos de las diferentes tecnologías convencionales y emergentes aplicadas en el aprovechamiento del lactosuero.

Inferir sobre la disponibilidad y aplicabilidad de las tecnologías convencionales y emergentes en el aprovechamiento del lactosuero desde el contexto internacional y nacional.

Elaborar un análisis argumentativo sobre los referentes socioeconómicos y normativos que condicionan el valor agregado del lactosuero en el escenario internacional y nacional.

Reunir información acerca del grado de intensidad tecnológica como indicador de innovación en el aprovechamiento del lactosuero a nivel Colombia.

## **6. METODOLOGIA**

Para la investigación se revisaron artículos publicados en los años 2016 y 2021 en revistas multidisciplinares halladas en las bases de datos como Scopus, International Journal of Project Management, DOAJ, Dialnet, Proquest y ScienceDirect de la e-biblioteca de la UNAD. Se utiliza la técnica de análisis de contenidos mediante el método intensivo externo y de inferencia para agrupar la información de una forma sistemática, cuantitativa y objetiva.

## **8. PRESENTACION DE RESULTADOS**

La revisión bibliográfica ha permitido conocer con mayor detenimiento el contexto del lactosuero, beneficios, tecnologías disponibles para el aprovechamiento del lactosuero. Identificaron dos grupos e técnicas: las convencionales y las emergentes, ambas propenden por recuperar el mayor número de nutrientes del lactosuero. Impactos Sociales, económicos, ambientales y normativos nivel Nacional. Opinión de expertos sobre el manejo del afluente salino y los beneficios que aportaría a Colombia el aprovechamiento del lactosuero.

## **9. CONCLUSION**

La investigación aporta un análisis bibliográfico sobre el contexto actual del lactosuero sus beneficios, tecnologías aplicadas, investigaciones desarrolladas, normatividad actual y opinión de expertos en Colombia que conocen el manejo que se da sobre el afluente Salino. Aportando a futuros proyectos un marco general que puede contribuir con otras investigaciones y proyectos.

#### **10. COMENTARIOS DEL REVISOR DEL ARTICULO.**

La investigación aporta un análisis bibliográfico para el aprovechamiento de un coproducto que permite generar nuevos productos como materiales encapsulantes de aceites, formulas infantiles, proteína de deportistas, productos químicos de limpieza entre otros. Permite dar al lector un conocimiento general, incentivando a nuevos estudiantes a la investigación y generación de nuevos productos a partir de este coproducto proveniente de la producción de queso.