

**DETERMINACIÓN DE UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA EL
APROVECHAMIENTO DEL LACTOSUERO GENERADO POR LA EMPRESA
QUESILLOS ARMERO GUAYABAL**

**JAMER STID NAFAR GALEANO
ADRIANA MANUELA ORTIZ RODRÍGUEZ**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
Ingeniero Químico**

Orientador:

**Felipe Correa Mahecha
Ingeniero Químico**

**Juan Carlos Robles
Ingeniero Industrial**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2021**

Nota de aceptación

Nombre
Firma del Director

Nombre
Firma del Presidente Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Nombre
Firma del jurado

Bogotá D. C. Febrero de 2021

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector de Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrectora Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaría General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de Facultad

Dr. Julio César Fuentes Arismendi

Director de Programa

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS	15
1. GENERALIDADES Y ORIGEN DEL LACTOSUERO	16
1.1 Descripción de la empresa	16
1.1.1. <i>Elaboración de quesos</i>	16
1.1.2. <i>Diagrama de bloques del proceso</i>	19
1.1.3. <i>Origen y obtención del lactosuero</i>	20
1.1.4. <i>Valor nutricional del lactosuero</i>	21
1.2. Problemática ambiental causada por el lactosuero	21
1.2.1. <i>Reglamentación ambiental de vertimientos de la industria láctea</i>	22
1.3. Estado actual de la industria láctea y quesera en Colombia	23
1.3.1. <i>Productividad del sector lácteo en Colombia frente a otros países</i>	24
1.3.2. <i>Desempeño productivo Nacional</i>	25
1.3.3. <i>Importación de productos lácteos</i>	26
1.3.4. <i>Exportación de productos lácteos</i>	27
1.4. Caracterización teórica del lactosuero	28
1.4.1. <i>Revisión bibliográfica</i>	28
2. TÉCNICAS DE APROVECHAMIENTO DEL LACTOSUERO	34
2.1. Descripción de la metodología utilizada	34
2.2. Análisis Bibliométrico	36

2.2.1.	<i>Trabajos relacionados</i>	36
2.2.2.	<i>Materiales y métodos</i>	37
2.2.3.	<i>Metodología</i>	37
2.2.4.	<i>Análisis de resultados</i>	39
2.2.5.	<i>Resumen resultados generales</i>	44
2.3.	Oportunidades de aprovechamiento	46
2.3.1.	<i>Celdas de combustible microbianas</i>	46
2.3.2.	<i>Celdas de electrólisis Microbianas</i>	46
2.3.3.	<i>Cromatografía de Intercambio Iónico</i>	46
2.3.4.	<i>Digestión aerobia</i>	47
2.3.5.	<i>Digestión anaerobia</i>	47
2.3.6.	<i>Fermentación Aerobia</i>	47
2.3.7.	<i>Fermentación Anaerobia</i>	47
2.3.8.	<i>Hidrólisis enzimática</i>	48
2.3.9.	<i>Polimerización</i>	48
2.3.10.	<i>Precipitación</i>	48
2.3.11.	<i>Secado por aspersión</i>	48
2.3.12.	<i>Separación por membranas</i>	49
2.4	Preselección de alternativas de aprovechamiento	50
2.4.1	<i>Panorama general de procesos y productos</i>	50
2.4.2	<i>Método de preselección</i>	51
2.4.3	<i>Criterios de selección y pesos establecidos</i>	54
2.4.4	<i>Resultados de la preselección</i>	56
3.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PROCESOS DE APROVECHAMIENTO	59
3.1.	Ruta general del proceso	60
3.1.1.	<i>Bebidas a base de lactosuero</i>	60
3.1.2.	<i>Biogás y Biofertilizantes</i>	60
3.1.3.	<i>Suero concentrado líquido</i>	61

3.2. Descripción de los procesos de obtención	62
3.2.1. <i>Proceso de producción de bebida a base de lactosuero</i>	63
3.2.2. <i>Proceso de obtención de biogás a partir de lactosuero</i>	64
3.2.3. <i>Proceso de producción de suero concentrado líquido</i>	69
3.3. Especificaciones de los equipos implicados	72
3.3.1. <i>Tanque de almacenamiento</i>	72
3.3.2. <i>Filtro</i>	74
3.3.3. <i>Equipo de pasteurización</i>	75
3.3.4. <i>Tanque de mezcla</i>	76
3.3.5. <i>Equipo para envasar</i>	77
3.3.6. <i>Equipo de digestión</i>	78
3.3.7. <i>Centrífuga</i>	80
3.3.8. <i>Equipo de ultrafiltración</i>	81
3.3.9. <i>Bomba</i>	83
3.4. Organización humana	84
3.5. Otras consideraciones	85
4. ANÁLISIS FINANCIERO	86
4.1. Inversión inicial	86
4.2. Inversión fija	86
4.2.1. <i>Depreciación de los equipos</i>	89
4.3. Capital de trabajo	90
4.3.1. <i>Materia prima e insumos</i>	90
4.3.2. <i>Mano de obra</i>	90
4.3.3. <i>Costos indirectos de fabricación</i>	90
4.4. Inversión diferida	90
4.5. Ingresos	91

4.5.1. <i>Proyección de ventas</i>	92
4.5.2. <i>Rentabilidad actual de la empresa</i>	92
4.6. Flujo de caja	93
4.6.1. <i>Bebidas a base de lactosuero</i>	93
4.6.2. <i>Biogás</i>	94
4.6.3. <i>Suero concentrado líquido</i>	94
4.7. Ejercicio de diseño	95
4.7.1. <i>Diseño básico tanque de almacenamiento</i>	95
4.7.2. <i>Diseño básico biodigestor</i>	96
4.7.3. <i>Diseño básico ultrafiltrador</i>	97
4.8. Selección final	100
5. CONCLUSIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	105
ANEXOS	119

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Proceso de fabricación del queso	19
Figura 2. Diagrama de Bloques producción de quesos	20
Figura 3. Crecimiento de la productividad del sector lácteo	25
Figura 4. Resultados caracterización del lactosuero	33
Figura 5. Diagrama de la metodología de resolución del primer objetivo	35
Figura 6. Producción científica anual	41
Figura 7. Crecimiento de las fuentes	42
Figura 8. Nube de palabras clave	43
Figura 9. Tamaño de partícula que puede atravesar cada membrana	50
Figura 10. Árbol de procesos de valorización del lactosuero	51
Figura 11. Diagrama de la metodología de resolución del segundo objetivo	59
Figura 12. Diagrama de proceso de la elaboración de bebida a base de lactosuero	64
Figura 13. Comparación de la producción de biogás para 4 proporciones	66
Figura 14. Diagrama de proceso de obtención de biogás a partir de lactosuero	67
Figura 15. Diagrama de proceso de la obtención de suero concentrado líquido	70
Figura 16. Diseño de paso simple de ultrafiltración	71
Figura 17. Tanque de almacenamiento	73
Figura 18. Paños de un solo uso	74
Figura 19. Equipo de pasteurización	76
Figura 20. Tanque de Mezcla	77
Figura 21. Maquina llenadora	78
Figura 22. Reactor acidogénico	79
Figura 23. Reactor metanogénico fabricado a pedido	80
Figura 24. Equipo de centrifugación	81
Figura 25. Equipo de ultrafiltración	83
Figura 26. Bomba centrífuga alimentaria	84

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Materiales para la elaboración de quesos	17
Tabla 2. Límites permisibles de vertimientos lácteos	23
Tabla 3. Principales departamentos productores lácteos del país	26
Tabla 4. Principales Productos Lácteos Importados (2019)	27
Tabla 5. Principales Productos Lácteos Exportados (2019)	28
Tabla 6. Referencias y fuentes sobre la caracterización del lactosuero	29
Tabla 7. Caracterización química y física del lactosuero a nivel internacional	31
Tabla 8. Caracterización química y física del lactosuero a nivel nacional	32
Tabla 9. Resultados estandarización de datos sobre la caracterización del lactosuero	33
Tabla 10. Lista de estudios relacionados que utilizan el método bibliométrico	36
Tabla 11. Información principal del análisis bibliométrico	40
Tabla 12. Resumen resultados generales de las ecuaciones de búsqueda	45
Tabla 13. Niveles de madurez tecnológica	52
Tabla 14. Escala de importancia relativa de Saaty	54
Tabla 15. Matriz de comparación de criterios de preselección	56
Tabla 16. Evaluación de la madurez tecnológica	57
Tabla 17. Resultado matriz de preselección de alternativas de aprovechamiento	58
Tabla 18. Producción de metano por unidad de suero de queso y equivalente en GLP	68
Tabla 19. Poder calorífico de diferentes gases	69
Tabla 20. Balance de materia teórico para el equipo de ultrafiltración	72
Tabla 21. Costos de los equipos para la obtención de bebidas a base de lactosuero	87
Tabla 22. Costos de los equipos para la obtención de biogás	88
Tabla 23. Costos de los equipos para la obtención de suero concentrado líquido	89
Tabla 24. Costo de producción y precio de venta	92
Tabla 25. Flujo de caja de bebidas a base de lactosuero	93
Tabla 26. Flujo de caja de biogás	94
Tabla 27. Flujo de caja de suero concentrado líquido	94
Tabla 28. Especificaciones del ultrafiltrador	98
Tabla 29. Características de la membrana de ultrafiltración	100

Tabla 30. Matriz de comparación de criterios de selección final	101
Tabla 31. Resultado matriz de selección final de alternativa de aprovechamiento	102

RESUMEN

El presente proyecto busca aportar una alternativa para el aprovechamiento del lactosuero generado como residuo en la empresa Quesillos Armero Guayabal ubicada en el municipio de Puerto Boyacá. El lactosuero es un remanente que se obtiene durante la fabricación de quesos y que produce algunas dificultades debido a la cantidad de materia orgánica que posee. Para el desarrollo de este proyecto se realizó una investigación del papel que representa el lactosuero en el mercado y se evaluó su composición de forma teórica, obteniendo principalmente 46 g/kg de lactosa y 7.10 g/kg de proteínas.

Se llevó a cabo una revisión bibliométrica con ayuda de la base de datos Scopus, el software Bibliometrix y una serie de ecuaciones de búsqueda, con el fin de orientar la investigación hacia las tendencias actuales de aprovechamiento. Se efectuó una filtración inicial de los procesos de aprovechamiento encontrados, respecto al desarrollo de madurez tecnológica que poseían, posteriormente, se preseleccionaron 3 alternativas de productos por medio del método AHP, como resultado, destacan las bebidas a base de lactosuero, el biogás y el suero concentrado líquido.

Se establecieron las especificaciones técnicas de los procesos previamente seleccionados, mediante el escalamiento y adaptación de diferentes fuentes. Por último, se llevó a cabo un análisis financiero para cada una de las tres propuestas, se obtuvo una TIR positiva para la opción de bebidas a base de lactosuero, y negativa para los otros casos. Se realizó una última matriz de decisión para escoger la mejor alternativa, que resultó ser las bebidas a base de lactosuero.

Palabras claves: Bibliometría, bebidas, biogás, concentración, lactosuero, costos.

INTRODUCCIÓN

El municipio de Puerto Boyacá se consolida como una de las provincias lecheras más importantes en Colombia, produciendo aproximadamente entre 70 mil y 80 mil litros de leche diarios [1], los cuales se destinan a la obtención y comercialización de diversos productos lácteos. Quesillos Armero Guayabal es una de las empresas que dispone de dicha producción de leche en el municipio para la elaboración de quesos por medio de métodos artesanales. Dentro del proceso de obtención de la empresa, se producen 2800 litros de lactosuero diarios, a pesar de la cantidad de compuestos aprovechables que contiene este efluente, una parte considerable de él se desecha diariamente como vertimiento residual lácteo [2].

El lactosuero es un remanente obtenido en el proceso de fabricación de quesos y su disposición en el ambiente produce varios inconvenientes debido al alto contenido de materia orgánica que presenta [3]. La ausencia de regulación en el tratamiento previo antes del vertimiento a las alcantarillas o fuentes hídricas, genera la proliferación de microorganismos, puesto que la lactosa actúa como sustrato de fermentación microbiana, esto disminuye el contenido de oxígeno disuelto y reduce la vida en el agua, por otro lado, el vertimiento en los suelos también causa una alteración física y química que impacta en la productividad de los cultivos agrícolas [4].

Se ha generado un incremento exponencial tanto de las investigaciones científicas, como de las implementaciones prácticas de técnicas y métodos que permitan el aprovechamiento industrial del lactosuero, debido al creciente interés que existe por disminuir el impacto ambiental que se genera a partir de este residuo al aprovechar sus propiedades nutricionales en la obtención de productos o servicios que produzcan una rentabilidad en la industria.

El presente proyecto pretende determinar una opción para el aprovechamiento del lactosuero, que pueda llegar a ser sugerida para la implementación en la empresa Quesillos Armero Guayabal, para esto, se llevará a cabo una evaluación teórica de los aspectos técnicos y financieros para tres alternativas preseleccionadas y finalmente, se

seleccionará mediante una matriz de decisión la opción más viable teniendo en cuenta las condiciones de la empresa.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar una alternativa para el aprovechamiento del lactosuero generado por la empresa Quesillos Armero Guayabal.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar el uso y estado actual del lactosuero que se produce como residuo en la producción de quesos.
- Plantear las especificaciones técnicas de los procesos seleccionados para el aprovechamiento del lactosuero a nivel investigativo.
- Desarrollar el análisis financiero para las alternativas elegidas en el aprovechamiento del lactosuero.

1. GENERALIDADES Y ORIGEN DEL LACTOSUERO

En el siguiente capítulo se exponen las generalidades del proyecto, como la descripción de la empresa, el proceso de elaboración de quesos y el origen general del lactosuero, así como algunas características de los efectos de su vertimiento en el ambiente, su estado en el sector lácteo nacional y la caracterización general global del efluente.

1.1 Descripción de la empresa

Quesillos Armero Guayabal se fundó en el año 1998 en Guayabal, inició con tres trabajadores incluyendo el dueño. Al pasar los años, los propietarios Jaime Ramírez y su esposa toman la decisión de trasladar la empresa a Puerto Boyacá, al ser una zona ganadera se facilitó el conseguir la materia prima para la fabricación de quesos [5]. Hoy en día la empresa utiliza 3200 litros de leche diarios para la producción de quesos como doble crema, semiblando y semigraso en varias presentaciones, la producción de estos quesos genera 2800 litros de lactosuero del cual se disponen 1800 litros para la obtención de otros productos en la empresa y alimentación animal, mientras que, los otros 1000 litros restantes son desechados como efluente [2].

1.1.1. Elaboración de quesos

A pesar de que la empresa ha incrementado su tamaño a través del tiempo, actualmente, continúa utilizando una metodología tradicional para la elaboración y obtención de sus productos, en la tabla 1, se muestran los materiales que implementan en el proceso:

Tabla 1.

Materiales para la elaboración de quesos.

Ingredientes	Reactivos
Leche cruda	Fenolftaleína
Sal	Hidróxido de Sodio
Cuajo	Lactosuero

Nota. La tabla muestra los ingredientes necesarios en la elaboración de quesos para la empresa. Tomado de: J. Ramírez, “Quesillos Armero Guayabal,” 2014. <http://quesillosarmeroguayabal.blogspot.com/>.

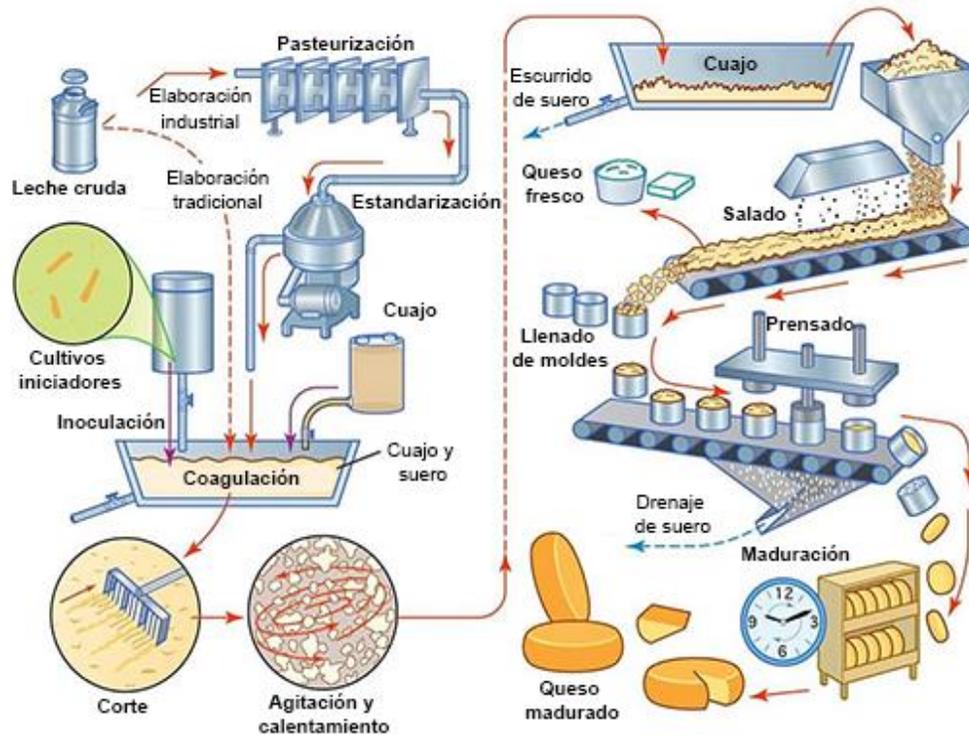
La obtención del queso a partir de la transformación de la leche, generalmente se lleva a cabo mediante seis pasos o etapas [6], como se muestra en la figura 1.

- Tratamiento de la leche: se recibe la leche cruda y esta debe pasar por un proceso de pasteurización y homogeneización, en donde se calienta entre 60 y 80°C durante cortos periodos de tiempo, con el fin de eliminar microbios patógenos presentes en la leche [7].
- Coagulación: esta etapa consta de la adición del cuajo en la leche, esta sustancia se separa de la mucosa del estómago de las crías de algunos animales rumiantes en período de lactancia. El cuajo contiene la enzima quimosina o renina, la cual, cataliza la rotura de la leche, desestabilizando la proteína y formando la cuajada [8]. Por lo tanto, el objetivo principal de este paso, es la separación de la fase líquida o lactosuero de la caseína (proteína de la leche).
- Corte de la cuajada y su desuerado: Una vez se tiene la consistencia deseada de la cuajada que dependerá del tipo de queso, se procede a cortarla en partes muy pequeñas, para esto se utilizan artefactos llamados liras, que constan de hilos muy tensos para realizar cortes precisos, de esta forma, se facilita separar el lactosuero de la cuajada [9].

- Salado: Este paso se lleva a cabo al sumergir el queso en salmuera, una mezcla de agua y sal, con lo que se logra eliminar el lactosuero restante, se promueve la formación de una corteza más firme y rígida, asegurando la consistencia en la forma del producto, y se regula la actividad microbiana al saturar el medio en sal [10].
- Moldeo y prensado: Para esta etapa ya se debe tener la cuajada, con la consistencia deseada sin lactosuero, la cual se lleva a moldes de plástico alimentario para dar la forma final y se cubre con gasa para retirar la humedad [10]. Posteriormente, los moldes pasan a la prensa por unas horas, para compactar el producto y terminar de retirar el aire y la humedad interna existente.
- Afinado o Maduración: Esta etapa consta de la maduración del queso para que alcance las características deseadas de aroma y sabor. Por último, el producto terminado es empacado en bolsas de polietileno con sellado hermético para mantener fresco el queso, y se almacena en un cuarto seco y frío para conservar las propiedades hasta su distribución y comercialización [5].

Figura 1.

Proceso de fabricación del queso.



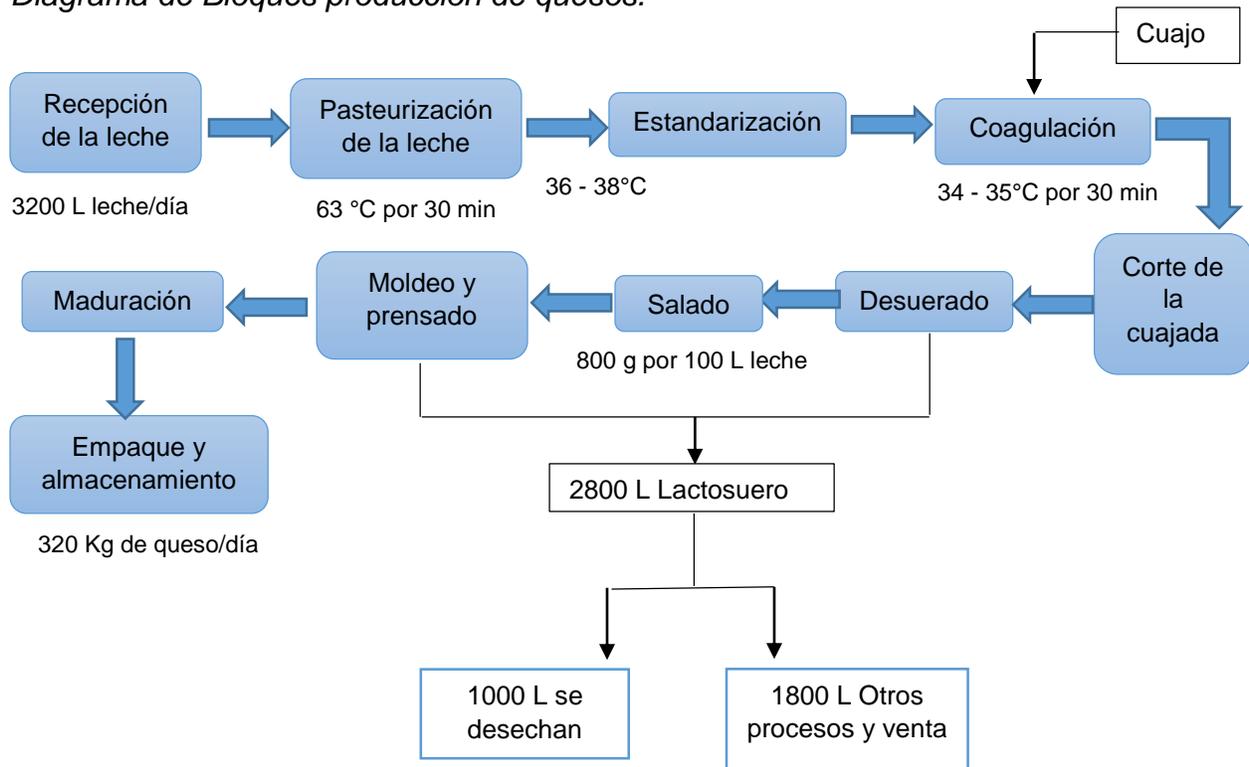
Nota. La figura muestra el proceso general de la elaboración de quesos. Tomado de: Quesos don Atilio SA, “Quesos Don Atilio de Tandil,” 2019. <https://www.donatilio.com/nuestra-industria>.

1.1.1. Diagrama de bloques del proceso

Se contrastaron con fuentes teóricas los datos aportados por la empresa sobre las cantidades diarias utilizadas y consumidas de leche y lactosuero [2], de este modo, según la figura 2, se logró desarrollar el diagrama de bloques general del proceso de fabricación de quesos en Quesillos Armero Guayabal.

Figura 2.

Diagrama de Bloques producción de quesos.



Nota. La figura muestra el proceso de obtención de quesos que se lleva a cabo por Quesillos Armero Guayabal. Tomado de: A. Castro, "Entrevista. Comunicación Telefónica."

1.1.2. Origen y obtención del lactosuero

El lactosuero es el producto lácteo líquido que se genera durante la preparación del queso, la caseína o productos similares, por medio de la separación de la cuajada, luego de la coagulación de la leche y/o productos derivados de la leche. La coagulación se alcanza mediante el acto de enzimas del tipo del cuajo [12], sus características corresponden a un líquido de color amarillo verdoso, turbio, de sabor fresco, poco dulce, de carácter ácido que logra contener un 94% de agua, además de proteínas y grasas [13].

1.1.3. Valor nutricional del lactosuero

Si bien el lactosuero no contiene la misma cantidad de nutrientes ni proteínas que la leche, si posee cerca del 55% del total de ingredientes de esta, entre las sustancias que representan un importante valor nutritivo, se encuentra la lactosa, las proteínas solubles, las vitaminas, los lípidos y las sales minerales [14].

El lactosuero supone un gran potencial nutritivo, en el organismo humano, aporta fósforo, sodio, calcio, potasio, magnesio y manganeso como minerales, y vitaminas B, C, E y D [14]. Según British Journal of Nutrition, el consumo de suero de leche ayuda a controlar los niveles de colesterol en el cuerpo, con lo cual se disminuye la tensión arterial y el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares. Por otra parte, el lactosuero se ha utilizado como sustrato en procesos industriales, basados en su valor nutricional para la comercialización y desarrollo de productos como etanol, ácido láctico, bebidas fermentadas, ácidos orgánicos, biomasa, concentrados, aislados e hidrolizados de proteína, películas comestibles, entre otros [14].

1.2. Problemática ambiental causada por el lactosuero

El lactosuero está compuesto principalmente por lactosa, proteínas y grasas, por lo que se considera que posee una gran carga de compuestos orgánicos, lo cual supone un problema para su disposición como residuo. El vertimiento de lactosuero directo sobre fuentes hídricas promueve la proliferación de bacterias ya que la lactosa actúa como sustrato en el caldo de cultivo, lo cual deteriora la calidad del agua debido a la disminución del oxígeno disuelto que es consumido por estos microorganismos [14]. Por otro lado, el vertimiento de este efluente en los suelos, se encuentra asociado a la modificación fisicoquímica de los mismos, lo cual afecta la producción y el rendimiento de los cultivos agrícolas [4].

Las grandes industrias deben contar con procesos de tratamiento para el lactosuero previos a su vertimiento en el alcantarillado, mientras que, para las pequeñas queserías, se recomienda contratar terceros que recojan el efluente y dispongan de él en plantas de tratamiento [16].

1.2.1. Reglamentación ambiental de vertimientos de la industria láctea

La industria de alimentos se considera como una de las más contaminantes en el mundo, esto se debe a que se producen residuos con altas cargas orgánicas, las cuales son difíciles de degradar en el medio ambiente [17]. En Colombia existen algunos lineamientos, decretos y normatividades que se aplican respecto a los vertimientos de residuos en fuentes hídricas, donde se evalúa el lactosuero como residuo industrial que se genera a partir del proceso de elaboración de productos lácteos.

La Resolución 631 de 2015: Capítulo VI, Artículo 12 enmarca este efluente como agua residual no doméstica. Según la norma, este residuo debe cumplir con algunos parámetros fisicoquímicos, que se muestran en la tabla 2, para que el vertimiento en cuerpos de aguas superficiales o alcantarillados se realice de forma legal procurando la mitigación y reducción del impacto ambiental.

Por otra parte, el Decreto 1076 de 2015: Capítulo 3, Ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos, determina el ordenamiento de los recursos hídricos y detalla de forma general los diversos usos para los que se disponen. Se presenta un seguimiento y control de los vertimientos, el cual se especifica por medio de un protocolo propuesto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Tabla 2.*Límites permisibles de vertimientos lácteos.*

PARÁMETRO	UNIDADES	ELABORACIÓN DE PRODUCTOS LACTEOS
Generales		
pH	mg/L Oxígeno	6.00 a 9.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L Oxígeno	450.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	250.00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	150.00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2.00
Grasas y Aceites	mg/L	20.00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos de Fósforo		
Fósforo total (P)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitrógeno total	mg/L	Análisis y reporte
Iones		
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	500.00
Sulfatos (SO ⁻)	mg/L	500.00

Nota. La tabla expone los máximos valores permisibles que deben cumplir los efluentes lácteos para su vertimiento en fuentes hídricas. Tomando de: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible, “Resolución 631,” 2015. https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

1.3. Estado actual de la industria láctea y quesera en Colombia

Se expondrán algunos aspectos relacionados con la productividad del sector lácteo colombiano frente a otros países, y se evaluará el estado del lactosuero en el mercado nacional respecto a otros productos lácteos.

1.3.1. Productividad del sector lácteo en Colombia frente a otros países

La industria quesera, se encuentra estrictamente ligada a la industria láctea en general, ya que esta proporciona la materia prima para la elaboración de los quesos. En términos de productividad, la industria colombiana se encuentra rezagada frente al panorama internacional, el país se posiciona en el puesto número 24 respecto a la producción láctea total en el mundo, según el ministerio de agricultura y desarrollo rural, el duplicar la productividad actual del país podría tomar entre 44 y 100 años, debido a la lentitud con la que se implementa la tecnificación de los procesos [19].

En la figura 3 es posible apreciar la tasa de crecimiento de productividad en Colombia frente a otros países, evaluada para un periodo de 25 años, comprendidos entre 1992 y 2017, con esto es posible evidenciar el retroceso con el que cuenta el país en comparación al desarrollo internacional. Sin embargo, según OCDE y FAO, Colombia es un país competitivo en costos y activo en el comercio internacional, el dinamismo de los mercados emergentes, promueve una tendencia favorable en los precios de la leche y los productos lácteos, adicionalmente, se ha mejorado la posición competitiva y se pronostica un cambio importante en la producción de sueros.

Figura 3.

Crecimiento de la productividad del sector lácteo.



Nota. El grafico expone el crecimiento de productividad respecto al sector lácteo que han tenido diferentes países frente a Colombia. Tomado de: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, “Productividad del Sector Lácteo,” 2018.

http://www.andi.com.co/Uploads/20200430_DT_AnalSitLecheLarga_AndreaGonzalez.pdf

1.3.2. Desempeño productivo Nacional

De acuerdo al DANE en el año 2018 se produjo un total de 7358 millones de litros de leche, la industria láctea en el país genera aproximadamente el 20% de los empleos agropecuarios, y contribuye con el 1.23% del PIB total Nacional [20]. Según el Consejo Nacional de Acreditación (CNA) la producción de leche en el país se lleva a cabo en por lo menos 1104 municipios colombianos de los 1122 existentes, en la tabla 3 se muestra el porcentaje de participación de los principales departamentos productores lácteos del país, junto con la cantidad de litros diarios producidos por cada sector en el año 2018.

Tabla 3.*Principales departamentos productores lácteos del país.*

Producción de Leche diaria por Departamento		
2018		
Departamento	Volumen/Día/Litro	Participación %
Antioquia	3826139	19%
Cundinamarca	3014402	15%
Córdoba	1373543	7%
Boyacá	1207998	6%
Magdalena	946963	5%
Cesar	923623	5%
Nariño	825459	4%
Meta	813830	4%
Santander	651600	3%
Sucre	628389	3%
Otros Departamentos	5947068	30%
Total	20159014	100%

Nota. La tabla muestra los volúmenes de leche diaria producida por cada departamento y el porcentaje de participación que aportan al sector lácteo. Tomado de: Minagricultura, “Cadena Láctea,” 2019. [http://sioc.minagricultura.gov.co/SICLA/Documentos/2019-03-30 Cifras Sectoriales.pdf](http://sioc.minagricultura.gov.co/SICLA/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf).

1.3.3. Importación de productos lácteos

Las importaciones de productos lácteos en el país se realizan bien sea, por la falta de capacidad de producción nacional, o por los bajos costos de los productos a nivel internacional. De acuerdo a la secretaría técnica del Consejo Nacional Lácteo (CNL), se ha registrado un aumento del 58% de importaciones de productos lácteos en el país en los últimos 6 años, en enero de 2019 se registró el mayor número de importaciones, para la leche en polvo entera y descremada, seguidas por el lactosuero, el cual proviene principalmente de Estados Unidos, la República Checa, y Canadá [22]. En la tabla 4 se

presenta una lista de los productos lácteos importados en el país, junto con el total de toneladas, precio y porcentaje registrado para febrero del año 2019.

Tabla 4.

Principales Productos Lácteos Importados (2019).

Producto	Toneladas netas	Valor CIF miles US\$	Participación Miles US\$
Leche en polvo descremada	12066	24807	64%
Leche en polvo entera	2762	8305	21%
Lactosuero	1992	2143	5%
Otros quesos	219	1347	3%
Queso fresco	140	759	2%
Queso rallado o en polvo	101	646	2%
Queso fundido	109	517	1%
Yogurt	16	87	0%
Leche condensada	23	47	0%
Otros productos	71	314	1%
Total	17499	38971	100%

Nota. Esta tabla muestra las cantidades y la participación económica de los productos lácteos importados en el país. Tomado de: Minagricultura, “Cadena Láctea,” 2019. [http://sioc.minagricultura.gov.co/SICLA/Documentos/2019-03-30 Cifras Sectoriales.pdf](http://sioc.minagricultura.gov.co/SICLA/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf).

1.3.4. Exportación de productos lácteos

Las exportaciones proporcionan mejoras competitivas en el sector, el cual puede fortalecerse con la apertura y flexibilización de las restricciones del mercado interno [23]. A pesar de que los productos que se generan, distribuyen y comercializan en mayor proporción en el país son la leche líquida y los quesos, los principales productos lácteos exportados según la secretaría técnica del Consejo Nacional Lácteo (CNL), para el año 2019, fueron la leche en polvo entera, la mantequilla y los quesos, siendo el principal mercado de exportación Estados Unidos y México. A continuación, se presenta la tabla 5, que incluye los productos que exporta Colombia, de acuerdo a información del DANE

para el año 2019, y que incluye la cantidad total en toneladas, el valor y el porcentaje que representa cada uno.

Tabla 5.

Principales Productos Lácteos Exportados (2019).

Producto	Toneladas netas	Valor CIF miles US\$	Participación Miles US\$
Leche en polvo entera	180	549	27%
Mantequilla	104	445	22%
Otros quesos	26	323	16%
Queso fresco	56	330	16%
Leche condensada	61	204	10%
Yogurt	63	146	7%
Otros productos	29	31	2%
Total	519	2028	100%

Nota. La tabla evidencia las cantidades y la participación económica de los productos lácteos exportados por el país. Tomado de: Minagricultura, “Cadena Láctea,” 2019. [http://sioc.minagricultura.gov.co/SICLA/Documentos/2019-03-30 Cifras Sectoriales.pdf](http://sioc.minagricultura.gov.co/SICLA/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf).

1.4. Caracterización teórica del lactosuero

1.4.1. Revisión bibliográfica

Dentro de la revisión bibliográfica realizada se seleccionaron algunos artículos de revistas indexadas, las cuales se evaluaron según la categoría o el cuartil que poseían, así como el índice H con el que contaba cada una; también se tuvieron en cuenta revistas en línea y redes sociales científicas. Los cuartiles sirven como indicadores para evaluar la importancia relativa de una revista dentro del total de revistas de su área, siendo el cuartil Q1 el primer grupo de revistas que poseen el mayor índice de impacto en el campo, estos valores fueron indagados en la página del ranking de instituciones SCIMAGO [24].

Por su parte, para los documentos nacionales, se evaluaron las categorías en la página PUBLINDEX [25] del ministerio de ciencias, tecnología e innovación estas corresponden a la clasificación de las revistas de acuerdo con el cumplimiento de los criterios de evaluación reconocidos internacionalmente para las publicaciones científicas, por último,

el índice H evalúa la calidad científica de un autor o revista, relacionando el número de citas y la producción científica de documentos que posee cada uno. En la tabla 6 se muestra un resumen de los factores de evaluación recopilados para cada uno de los documentos y fuentes indagadas sobre la caracterización del lactosuero.

Tabla 6.

Referencias y fuentes sobre la caracterización del lactosuero.

Título	Año	Revista	País artículo	H- Índice Revistas	Cuartiles Revistas
Biogas production by anaerobic co-digestion of cattle slurry and cheese whey	2012	Bioresource Technology	Italia	273	Q1 (2019)
Bio-utilization of cheese manufacturing wastes (cheese whey powder) for bioethanol and specific product (galactonic acid) production via a two-step bioprocess	2019	Bioresource Technology	China	273	Q1 (2019)
Cheese whey wastewater: Characterization and treatment	2013	Science of the Total Environment	España - Portugal	224	Q1 (2019)
The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorisation	2020	Environmental Management	Italia	161	Q1 (2019)
Aprovechamiento del lactosuero y sus componentes como materia prima en la industria de alimentos	2015	@limentech	Colombia	-	Clasificación C (2014)
Lactosuero: importancia en la industria de alimentos	2009	Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín.	Colombia	5	Categoría C / Q3
Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo	2012	Acta Universitaria	México	11	ICDS = 6.5

Nota. La tabla muestra la calificación de la calidad científica de las revistas que publicaron los artículos evaluados para la caracterización del lactosuero.

La composición química y física del lactosuero ha sido estudiada en múltiples ocasiones, debido a la variación que se genera respecto al tipo de lactosuero que se produce, el cual depende del tipo de queso que se desee desarrollar. Existen ciertos factores que

definen la calidad, el tipo de queso y por consiguiente las características del lactosuero, en donde se encuentra el tipo de animal, las condiciones físicas, ambientales y sanitarias de vida del mismo, la genética, la alimentación que se le provee y el manejo del ganado o forma de obtención de la leche [26]. Sin embargo, independientemente de las condiciones y tipo de lactosuero, en esencia este coproducto se compone principalmente de agua, lactosa y grasas.

El artículo titulado “Cheese whey wastewater: Characterization and treatment” [27] resultó bastante relevante para el proyecto, debido a que en él se realiza una exhaustiva recopilación de la caracterización del lactosuero expuesto por diferentes autores en múltiples estudios, esta investigación provee información sobre las características físicas y químicas de lactosueros producidos en diversos países como Australia, Bélgica, Brasil, Nueva Zelanda, entre otros. En la tabla 7 se muestra la recopilación realizada por los autores Carvalho, Prazeres y Rivas sobre los principales parámetros para la caracterización de lactosuero proveniente de lugares internacionales.

Tabla 7.*Caracterización química y física del lactosuero a nivel internacional.*

pH/EC	Lactose/LA	Proteins	Fats and oils	Mineral salts	BOD ₅	COD	BOD /COD	TS	TSS	Reference
5	-	-	-	-	40 - 60	75.8	0.53 - 0.79	56.8	21.82	[28]
-	-	-	-	-	-	68.8 ± 11.5	-	3.19 ^b	1.3 ± 1.14 ^b	[29]
-	45-50/0.5	6 - 8	4 – 5 ^d	8 – 10 ^a	30 - 50	60 - 80	0.50 - 0.63	-	-	[30]
3.92	-	-	-	-	-	74.5 ± 0.4	-	-	9.4 ± 0.5	[31]
4.9	50	-	-	-	-	74.2	-	66.83	22.15	[32]
4.5-5.0	-	-	-	-	-	73 - 86	-	-	20 - 22	[33]
-	3.9 ^a	0.72 ^a	0.79 ^a	0.46 ^a	-	-	-	5.87	-	[34]
4.2	49.2	-	-	-	-	102.1	-	70.9	-	[35]
3.8 - 6.3	-	-	-	-	35.5 - 46.0 ^c	60.3 - 66.7	-	-	4.1- 10.0	[36]
4.9 ± 0.3	45.9 ± 0.88	2.71 ± 0.05	9.44 ± 1.14	-	-	68.6 ± 3.3	0.55	5.93 ± 0.38	1.35 ± 0.06	[37]
-	43.92	1.42	0 ^a	6.1	37.7 ± 2.8	100	-	-	-	[38]
5.8	-	-	0.99	-	29.5	73.4	0.4	-	7.2	[39]
4.46 ± 0.3 - 7.6 ± 0.15	-	125 ± 2 ^b	0.9 ± 0.5 ^a	-	40 ± 2.55	60 ± 10	0.67	59 ± 0.5	1.5 ± 0.23	[40]
4.7	42.6	-	-	-	-	86.3	-	-	6.9	[41]
6.0 - 6.5	50 - 60	-	-	-	27 - 36	50 - 70	0.51 - 0.54	55 - 65	10 - 15	[42]

Nota. La tabla muestra la caracterización del lactosuero recopilada por fuentes internacionales. Los parámetros se encuentran expresados en g/L con excepción de: BOD₅/COD (adimensional); ^a (%); ^b (g/kg); ^c (como BOD₇); ^d (como lípidos). Tomado de: F. Carvalho, A. R. Prazeres, and J. Rivas, "Cheese whey wastewater: Characterization and treatment," *Sci. Total Environ.*, vol. 445–446, pp. 385–396, 2013, disponible en: 10.1016/j.scitotenv.2012.12.038.

Por otra parte, en cuanto a la caracterización del lactosuero nacional, los autores Colombianos Motta y Mosquera, exponen una tabla que contiene rangos de la caracterización fisicoquímica y bromatológica del lactosuero, la cual se presenta en la tabla 8 y permite apreciar los rangos de los parámetros más relevantes de caracterización tanto para el suero dulce como para el suero ácido.

Tabla 8.*Caracterización química y física del lactosuero a nivel nacional.*

Parámetro	Suero dulce	Suero ácido	Suero ácido-salado
Agua (%)	93 - 95	93 - 95	-
Extracto seco (%)	5 - 7	5 - 7	-
Lactosa (%)	4.5 - 5.3	3.8 - 5.2	-
Proteínas (%)	0.6 - 1.1	0.2 - 1.1	0.86 ± 0.04
Grasas (%)	0.1 - 0.4	0.1 - 0.5	0.32 ± 0.03
Sales Minerales	0.5 - 0.7	0.5 - 1.2	0.61 ± 0.03
Valor pH	6.45	5.0	6.12 ± 0.01

Nota. La tabla expone la caracterización de lactosuero de acuerdo a un estudio nacional. Tomado de: Y. Motta-correa and M. Mosquera, “Aprovechamiento del lactosuero y sus componentes como materia prima en la industria de alimentos”.

1.4.2. Resultados de la Caracterización

Se indagó en múltiples fuentes la composición química y física del lactosuero, debido a la variación del valor de los parámetros, se implementó el método estandarizado de cajas y bigotes, con el fin de obtener de forma gráfica un rango general de las características más relevantes de composición del lactosuero, logrando incluir todos los valores recopilados en las diversas fuentes expuestas anteriormente, la organización de los datos y la implementación de esta metodología se exponen en el anexo 1.

En total, se estandarizaron los datos de caracterización para 21 referencias, en la tabla 9, se muestran los resultados obtenidos de la media y la mediana para los parámetros de caracterización más relevantes del lactosuero. La media representa el promedio total de todos los datos valorados para un parámetro, mientras que la mediana arroja el valor estadístico de posición central, devolviendo la tendencia central de los datos evaluados, lo que permite omitir los valores extremos de composición. Adicionalmente, la figura 4 muestra gráficamente los resultados obtenidos, haciendo posible evidenciar los

parámetros de composición que se encuentran en una mayor proporción en el lactosuero, como la lactosa, compuesto que es altamente aprovechable en la industria.

Tabla 9.

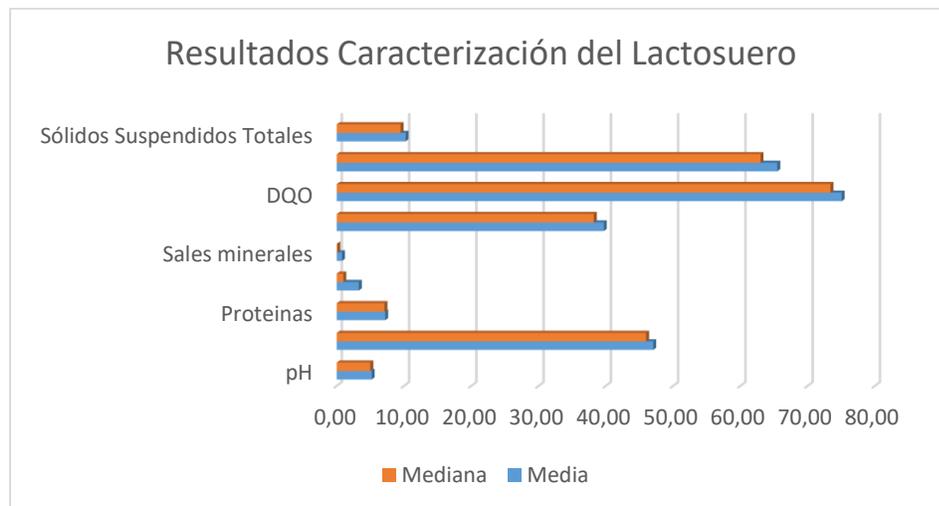
Resultados estandarización de datos sobre la caracterización del lactosuero.

Tabla de resultados (g/kg de lactosuero)		
Parámetro	Media	Mediana
pH	5.20	5
Lactosa	47.06	46
Proteínas	7.22	7.10
Grasas y aceites	3.29	0.99
Sales minerales	0.79	0.10
DBO	39.71	38.22
DQO	75.06	73.40
Sólidos Totales	65.50	63
Sólidos Suspendidos Totales	10.24	9.50

Nota. La tabla presenta los resultados obtenidos de la media y la mediana al aplicar el método estadístico de cajas y bigotes para la caracterización del lactosuero.

Figura 4.

Resultados caracterización del lactosuero.



Nota. El gráfico ilustra las proporciones de composición del lactosuero para los parámetros de caracterización más relevantes.

2. TÉCNICAS DE APROVECHAMIENTO DEL LACTOSUERO

En esta sección se pretende establecer un diagnóstico general del panorama actual respecto a las tendencias de los procesos para el aprovechamiento del lactosuero, mediante una evaluación global de la producción de investigaciones científicas. Adicionalmente, se indagarán metodologías de selección para lograr establecer las tres tecnologías que mejor se acoplen a las condiciones de la empresa.

2.1. Descripción de la metodología utilizada

Se investigaron referencias que presentaran metodologías para el desarrollo del análisis bibliométrico, gestión de la información y métodos de selección de alternativas evaluando múltiples criterios, con el fin de replicar y adaptar las técnicas utilizadas en el proyecto.

La figura 5 muestra el diagrama de la metodología a seguir, en donde se especifican las etapas y la secuencia de pasos para evaluar las tendencias de los métodos de valorización del lactosuero y el interés científico que representa su aprovechamiento.

2.2. Análisis Bibliométrico

2.2.1. Trabajos relacionados

El creciente interés por la elaboración de estudios e investigaciones científicas le ha dado mayor relevancia a herramientas estadísticas que permiten evaluar la cantidad y la calidad de información disponible en bases de datos, lo cual consolidó a los estudios bibliométricos como una metodología para verificar el panorama y la situación actual de diferentes áreas del conocimiento [44].

Los datos bibliográficos que se utilizan en los análisis por métodos bibliométricos son recopilados a partir de bases de datos disponibles en línea, su posterior estudio mediante indicadores bibliométricos, permite una evaluación integral de la información del área de investigación científica que se desee tratar [45]. Numerosos estudios han llevado a cabo esta metodología para analizar diversas áreas del conocimiento, en la tabla 10 se muestran algunos trabajos que utilizaron la bibliometría y se encuentran relacionados con la producción y aprovechamiento de lactosuero.

Tabla 10.

Lista de estudios relacionados que utilizan el método Bibliométrico.

Título	Tema	Referencia
Employing bibliometric analysis to identify suitable business models for electric cars	Metodología de Análisis Bibliométrico	[45]
Bibliometric Analysis of Cheese Literature Covered by the Food Science and Technology Abstracts in 1970 and 1980	Literatura del Queso	[46]
Whey valorization: current options and future scenario – a critical review	Valorización del Suero	[47]
Bioenergy from bio-waste: a bibliometric analysis of the trend in scientific research from 1998–2018	Bioenergía a partir de residuos biológicos	[48]
State of the art on food waste research: A bibliometric study from 1997 to 2014	Desechos alimentarios	[49]

Nota. La tabla muestra las principales referencias relacionan el uso del análisis Bibliométrico y el aprovechamiento de residuos.

2.2.2. Materiales y métodos

Se tendrán en cuenta los conceptos sobre bibliometría y cienciometría, para el desarrollo del análisis Bibliométrico, se evaluarán las fuentes bibliográficas proporcionadas por la base de datos Scopus, ya que esta cuenta con una gran variedad de publicaciones revisadas, con más de 3700 revistas indexadas, 8 millones de documentos en open Access y 210000 libros, logrando suministrar información confiable de áreas relacionadas con ciencia, tecnología, medicina y ciencias sociales [50]. Al limitar el proyecto con el análisis Bibliométrico exclusivo de la base de datos Scopus, se está subestimando la información procedente de otras fuentes, sin embargo, con esto se pretende conservar los beneficios de transparencia, objetividad y la posible reproducibilidad por parte de otros investigadores [51].

Como herramienta estadística, que permita organizar y explorar la información recopilada, se utilizará el software Bibliometrix, el cual funciona a través del lenguaje de programación de código abierto R, el paquete Bibliometrix ofrece la aplicación Biblioshiny, que permite importar la información de las bases de datos para realizar los análisis bibliométricos, a partir de la construcción de matrices de datos para citación, acoplamiento, análisis de colaboración científica y de copalabras [52].

Finalmente, la evaluación bibliométrica de la información se llevará a cabo por medio de los indicadores bibliométricos básicos, los cuales incluyen los años de publicación, la distribución de las referencias según revistas o áreas científicas, tendencias, el número de autores, instituciones o países y participantes en los documentos [53].

2.2.3. Metodología

La metodología para el desarrollo del análisis Bibliométrico que se realizará en el presente proyecto se llevó a cabo mediante una adaptación de los lineamientos del método utilizado por los autores Secinaro, Brescia, Calandra y Biancone [45], en donde se utiliza la base de datos Scopus y el software Bibliometrix para realizar una completa evaluación bibliométrica de la información que a ellos les concierne, para esto se seguirán las principales fases de la metodología que allí se plantea, adaptándolas al área de investigación de nuestro interés.

Como primera instancia se plantearon algunas preguntas para limitar y centrar la investigación, en donde se incluyeron: ¿Mediante qué métodos se puede transformar el lactosuero?, ¿Qué tratamientos se le pueden realizar al lactosuero? y ¿Cuáles procesos existen para el aprovechamiento o valorización del lactosuero? A partir de esto fue posible establecer ecuaciones de búsqueda limitadas con las siguientes palabras clave y operadores booleanos:

- “Industrial waste” AND Whey AND Treatments
- “Whey treatments” AND Process
- Whey and Transformation
- "Dairy waste" AND Treatments
- Whey and Valorization

Se consideraron documentos publicados solo en inglés, ya que es el idioma que contiene más del 90% del total de documentos científicos [54]. Se seleccionó la base de datos Scopus para realizar las respectivas búsquedas, a partir de esta se encontraron las colecciones de documentos que fueron exportadas en formato “. *bib*” y luego cargadas en el software Bibliometrix para obtener de forma ordenada las estadísticas y la evaluación de la información en cada caso. Posteriormente, se procedió a realizar el análisis de los resultados bibliométricos evaluando las fuentes, los autores, la cantidad de información y los países de investigación a partir de los siguientes elementos: información principal, producción científica anual, fuentes científicas, producción de los autores en el tiempo, palabras clave del autor, dendrograma de temas y producción del país.

2.2.4. Análisis de resultados

Los resultados del análisis Bibliométrico que se expondrán a continuación, corresponden específicamente a la ecuación de búsqueda “Whey and Valorization”, debido a que en relación al cumplimiento del principal objetivo del proyecto se seleccionó dicha ecuación como la más relevante para la investigación. Sin embargo, también se realizaron los respectivos análisis para el resto de ecuaciones, cuyos datos más importantes también serán incluidos de forma general en esta sección.

- Análisis Bibliométrico descriptivo: En la tabla 11, se presenta la información general de las estadísticas obtenidas sobre la información evaluada, en esta se expresan los datos más relevantes de los documentos encontrados, como el número de documentos, la cantidad de palabras clave relacionadas y la cantidad de autores, así como el número promedio de coautorías y el índice de colaboración. Los resultados de la información principal de las otras ecuaciones se muestran en el Anexo 2.

Tabla 11.*Información principal del análisis bibliométrico.*

Información principal sobre los datos	Explicación	Número
Documentos	Número total de documentos	158
Fuentes	Distribución de frecuencia de las fuentes como revistas	108
Palabras clave de autores	Número total de palabras clave	509
Palabras clave Plus (ID)	Número total de frases que aparecen con frecuencia en el título de las referencias de un artículo	1530
Periodo	Años de publicación	1978 a 2020
Autores	Número total de Autores	688
Apariciones de autores	Distribución de frecuencia de los autores	797
Documentos de Autor único	Número de Autores únicos por artículo	3
Documentos con varios Autores	Número de varios Autores por artículo	685
Autores por documento	Número promedio de autores en cada documento	4.35
Coautores por documento	Número promedio de coautores en cada documento	5.04
Índice de colaboración	Número de varios autores por artículo/Número total de artículos con varios autores	4.42

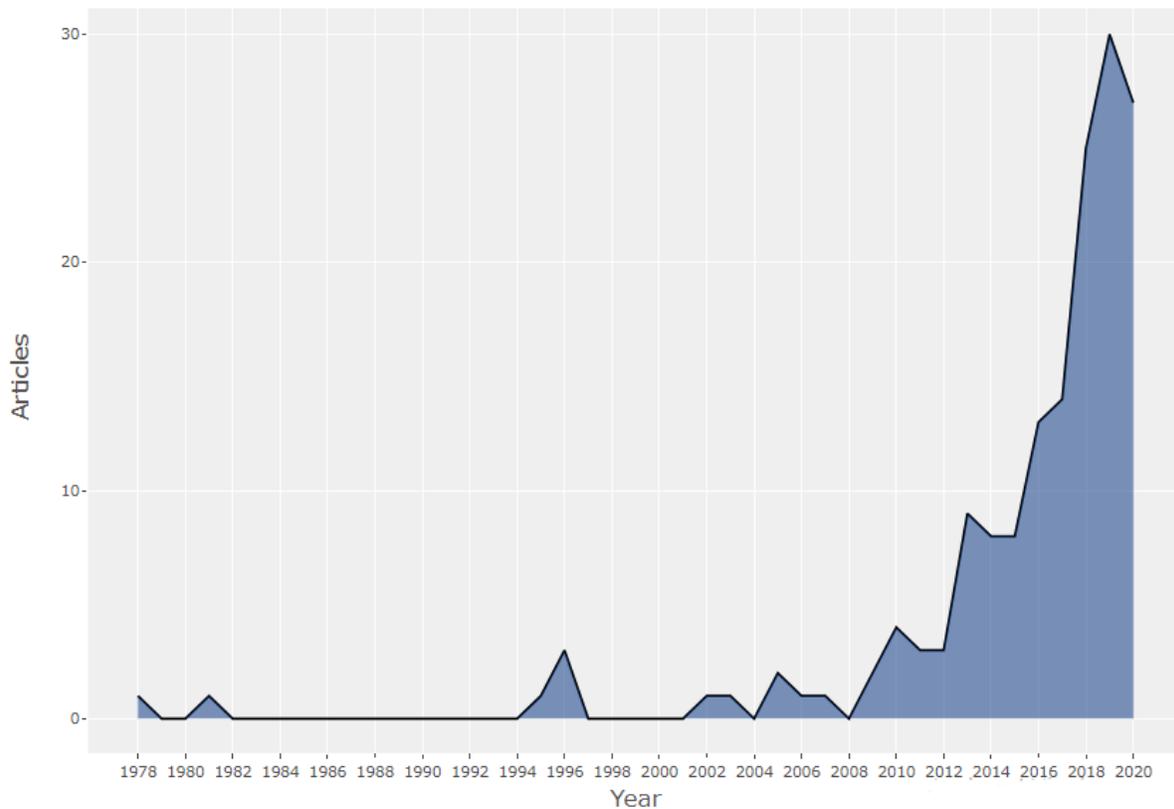
Nota. La tabla expone la información principal de las estadísticas bibliométricas obtenida por medio de Bibliometrix para la ecuación Whey and Valorization.

- Producción científica anual: De acuerdo a la información recopilada en Scopus, y evaluada por el software Bibliometrix, se generó una tasa de crecimiento anual del 17.91% de la información general relacionada con la valorización del lactosuero, lo que indica un crecimiento exponencial de la información, específicamente en los últimos 4 años. Según la figura 6 es posible observar que se produce un incremento significativo de la respectiva investigación a partir del año 2016, sin embargo, el tema viene siendo estudiado aproximadamente desde 1978, abarcando un período de análisis de 42 años de producción científica. No obstante, el aumento más significativo en artículos publicados ocurrió en los últimos 3 años. Este resultado confirma el creciente interés que existe sobre el tema de aprovechamiento del

lactosuero, tanto por los problemas de contaminación que ocasiona, como por los componentes activos y aprovechables que contiene. En la sección 3 de anexos se aprecian los resultados de la producción científica de las ecuaciones “Industrial Waste” AND Whey AND Treatments, Whey and Transformation y “Dairy Waste” AND Treatments.

Figura 6.

Producción científica anual.



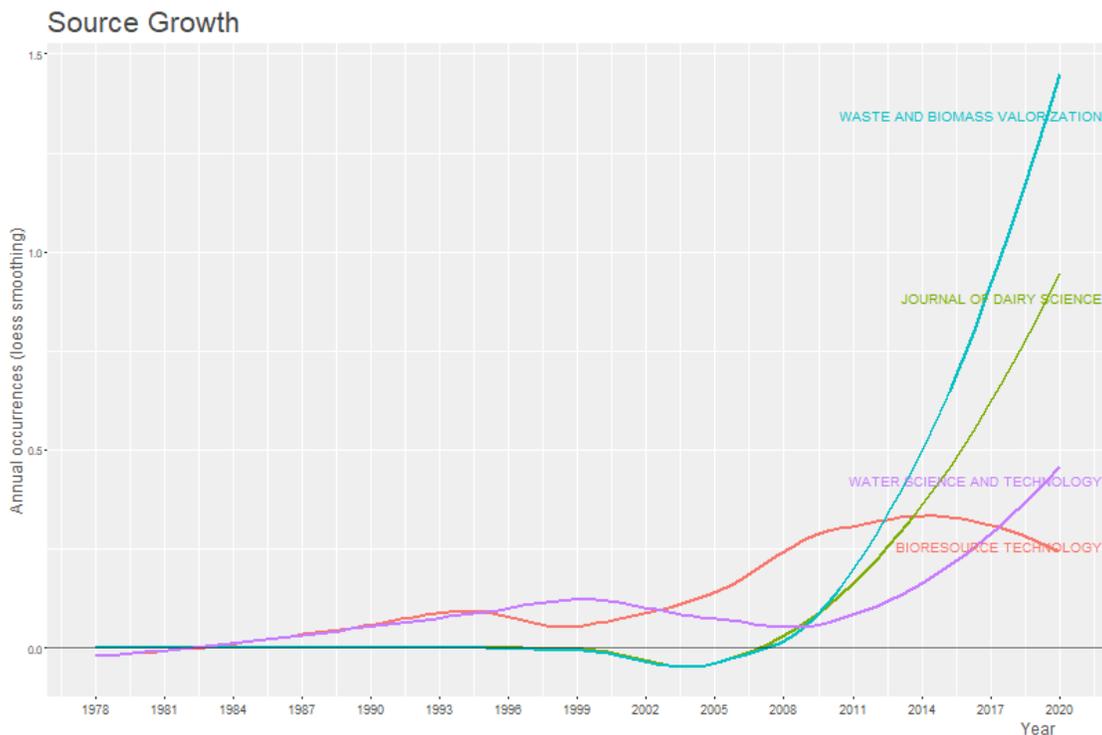
Nota. El grafico obtenido mediante el software muestra la producción de artículos por año para la ecuación Whey and Valorization.

- Fuentes científicas: Se evaluó el crecimiento o desarrollo de las cuatro fuentes principales sugeridas por el software a través del tiempo, la figura 7 revela la proyección de la producción y actividad que han tenido las revistas cada año, lo que permite evidenciar un crecimiento exponencial significativo a partir del año 2011. Estos resultados incrementan la confiabilidad en las fuentes y recursos, además

generan una concepción general del aumento en la producción científica y reconocimiento global del tema. Adicionalmente, en el apartado 4 de anexos se muestra las gráficas de crecimientos de las fuentes de las otras ecuaciones de búsquedas y en el Anexo 5 se expone el top 20 de las fuentes más importantes, junto con el número específico de publicaciones realizadas por cada una de ellas.

Figura 7.

Crecimiento de las fuentes.



Nota. El gráfico expone el crecimiento de las 4 fuentes que más publican en relación a la ecuación Whey and Valorization, evaluando la producción científica anual que realizan.

- Autores: En cuanto a los autores, el análisis estadístico permite evaluar la producción científica anual que ha tenido cada autor a través del tiempo, con lo cual se puede asegurar la confiabilidad de estos, en cuanto a las publicaciones propias relacionadas al tema. En las gráficas disponibles del Anexo 6, se muestran los autores que han

- Producción por países: Es importante considerar el origen principal de las publicaciones acerca de la valorización del lactosuero, ya que a partir de la cantidad de producción científica que proporcione un país sobre el tema, es posible aproximar el grado de desarrollo que tiene determinado lugar sobre la investigación, logrando dar un mayor valor a las publicaciones que de allí provengan. De acuerdo a los resultados generados por el software, Italia es el país que cuenta con una mayor cantidad de publicaciones científicas del tema (60), seguido por Canadá (36) y Portugal (35), por su parte Colombia solo cuenta con un total de 2 publicaciones. El top 20 de los países con mayor participación científica se muestra en el apartado de Anexos 9.

2.2.5. Resumen resultados generales

En la tabla 12 se muestra una recopilación de la cantidad total de documentos, fuentes, autores, palabras clave y países con la mayor producción científica respecto a los temas tratados, obtenidos a partir de las estadísticas de resultados proporcionados por el software para cada ecuación de búsqueda analizada.

Las cifras generadas permitieron comprobar el constante interés que existe sobre los tratamientos para el aprovechamiento del lactosuero, las palabras clave obtenidas hicieron posible establecer un panorama general sobre los tratamientos, técnicas, métodos y temas más relacionados y estudiados en relación al proyecto.

Por su parte, la cantidad de fuentes, autores y los países más relevantes, lograron promover y guiar la investigación hacia publicaciones confiables, útiles y verídicas, que ayuden a delimitar de una forma correcta el estado científico actual del lactosuero, y de los procesos industriales que existen para su tratamiento.

Tabla 12.*Resumen resultados generales de las ecuaciones de búsqueda.*

Ecuación de búsqueda	Documentos	Fuentes	Autores	Palabras claves de los autores	País con mayor producción
“Industrial waste” AND Whey AND Treatments	116	66	423	376	Estados Unidos
“Whey treatments” AND Process	43	37	160	125	Turquía
Whey and Transformation	198	139	852	560	Estados Unidos
"Dairy waste" AND Treatments	354	210	1064	789	Estados Unidos
Whey AND Valorization	158	108	688	509	Italia

Nota. La tabla expone el resumen de los principales resultados obtenidos para todas las ecuaciones de búsqueda evaluadas en el análisis Bibliométrico.

La completa revisión bibliométrica arrojó un total 869 documentos relacionados con el tema, tomando como referencia el artículo de los autores Gómez, Navas, Aponte y Betancourt [55] se implementó un sistema para organizar y analizar la información de forma más sencilla, con el fin de identificar y distinguir los documentos principales de los secundarios, y priorizar la información de mayor relevancia para la investigación. Para esto, se clasificaron las palabras clave encontradas en cada ecuación de búsqueda, dependiendo si correspondían a algún tipo de proceso, producto, adjetivo, parámetro, aditivo u otros.

Debido a que el enfoque principal del proyecto pretende evaluar los procesos de transformación del lactosuero, se filtró para cada ecuación de búsqueda los documentos relacionados con las palabras clave que hacían referencia a los procesos, logrando reducir la cantidad de documentos a un total de 164, a los cuales se les realizó la debida

filtración de contenido evaluando el resumen y las conclusiones presentes para llegar a asignar su importancia y el aporte que podrían generar para el proyecto.

2.3. Oportunidades de aprovechamiento

Se han incrementado las investigaciones y el interés por explorar las alternativas de aprovechamiento del lactosuero como residuo debido a la cantidad de compuestos con valor activo que contiene, y a las magnitudes de producción que se generan, ya que aproximadamente el 90% del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada como lactosuero [14]. La fragmentación de los principales constituyentes del suero, representa una alternativa para reducir la demanda biológica y química en las plantas de tratamiento y es una fuente para la obtención de componentes de mayor importancia comercial [56]. Entre los productos de valor agregado que pueden obtenerse a partir de este efluente se encuentra el suero en polvo, la biomasa, el etanol, el biogás, el ácido cítrico, el ácido acético, el ácido láctico, entre otros [57], por medio de algunos procesos o técnicas que se expondrán a continuación.

2.3.1. Celdas de combustible microbianas

Son dispositivos que permiten la obtención de energía eléctrica a partir de energía química proveniente de microorganismos que transfieren los electrones producidos de su actividad metabólica a un electrodo (ánodo) en lugar de a un aceptor natural de electrones (como oxígeno) [58]. Esta alternativa se está convirtiendo en una tendencia mundial para la producción de energía sostenible, ya que su operación simultánea permite degradar materia orgánica promoviendo la biorremediación.

2.3.2. Celdas de electrólisis Microbianas

Es un sistema bioelectroquímico con el cual es posible producir biohidrógeno (Bio-H₂), para esto, se requiere de una fuerza impulsora que se suministra como un voltaje aplicado entre dos electrodos para que la corriente eléctrica fluya desde el ánodo hacia el cátodo [59]. Este proceso permite remover una gran cantidad de materia orgánica de los efluentes, debido a la oxidación que se lleva a cabo por microorganismos que, a través de su metabolismo, son capaces de liberar iones H⁺ y electrones.

2.3.3. Cromatografía de Intercambio Iónico

Es la estrategia o técnica más utilizada para la purificación de las proteínas presentes en el lactosuero, en este proceso, las proteínas son adsorbidas sobre el material

cromatográfico mediante fuerzas electrostáticas y posteriormente se realizan lavados sucesivos para remover los componentes que no interactúan con la matriz, por último, se lleva a cabo un incremento en la fuerza iónica o un cambio de pH de la solución buffer empleada con el fin de lograr la desorción de las proteínas [60].

2.3.4. Digestión aerobia

Se trata de la descomposición biológica de la materia orgánica en presencia de oxígeno, consta principalmente de un sustrato, con nutrientes, oxígeno y microorganismos que necesitan aireación para realizar sus funciones [61]. Se requiere de cierto grado de agitación para que este proceso sea eficaz y confiable y se obtienen principalmente productos finales inocuos y materia celular [62].

2.3.5. Digestión anaerobia

Esta alternativa produce principalmente metano y dióxido de carbono, una mezcla de gases que se conoce como biogás, el cual se genera a partir de una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno [63]. La digestión anaerobia se considera la estrategia de valorización del contenido energético de las materias primas orgánicas más aplicada actualmente, debido a su alta eficiencia, flexibilidad operativa y beneficios ambientales generales [64].

2.3.6. Fermentación Aerobia

Consiste en la degradación de materia orgánica en presencia de oxígeno por medio de bacterias, para producir principalmente dióxido de carbono, agua y otros componentes. En este tipo de fermentación, se añade normalmente una solución rica en nutrientes, oxígeno, un antiespumante y se inoculan los microorganismos, las condiciones de operación pueden variar debido a la acumulación de productos de desecho y a la multiplicación de los microorganismos [65].

2.3.7. Fermentación Anaerobia

El lactosuero es un sustrato susceptible a ser valorizado energéticamente por medio de la aplicación en procesos biológicos de fermentación, debido al alto contenido de lactosa que posee. Entre las alternativas, se encuentra someter la lactosa a un tratamiento de fermentación biológica para la producción de ácido láctico o aplicar procesos de fermentación alcohólica, orientados a la obtención de etanol o butanol, todos estos

compuestos pueden tener múltiples aplicaciones en la industria de alimentos, conservantes, detergentes, cosméticos y productos farmacéuticos [57].

2.3.8. Hidrólisis enzimática

La lactosa es un disacárido que se encuentra constituido principalmente por la unión de una molécula de glucosa y otra de galactosa, las cuales pueden ser recuperadas mediante tratamientos de hidrólisis, en donde se lleva a cabo una ruptura química o enzimática de moléculas de proteína en péptidos de diferentes tamaños y aminoácidos [57].

2.3.9. Polimerización

Es un proceso químico donde se juntan unidades de moléculas iguales, unas tras otras con el fin de formar una cadena grande de moléculas [63]. Actualmente se evalúa el uso del lactosuero como sustrato para la obtención de polímeros biodegradables, de este modo, los componentes del suero lácteo se utilizan para promover el crecimiento de microorganismos capaces de producir sustancias, como el ácido láctico, el cual se considera la base para la polimerización a ácido polilactico (PLA) [67].

2.3.10. Precipitación

Es el proceso donde se busca concentrar el soluto de una solución transformando en sólido mediante la acción de un agente precipitante. El producto que se genera es un soluto concentrado y puro [68]. Este método es importante para la purificación de proteínas y ácidos nucleicos. El uso de solventes orgánicos ayuda a precipitar proteínas y otras macromoléculas reduciendo la constante dieléctrica del medio en el cual están presentes [69].

2.3.11. Secado por aspersión

Es una operación unitaria en la que busca transformar un fluido (solución, dispersión o pasta) en material sólido, se atomiza en forma de gotas pequeñas dentro de un sistema de secado, obteniendo un producto en polvo. Este método ayuda a un mejor manejo y la preservación del producto por la reducción del agua y la humedad a niveles muy bajos [70].

Este proceso incluye las operaciones de precalentamiento, concentración, secado por atomización y enfriamiento neumático, con el fin de obtener suero en polvo fino, propenso

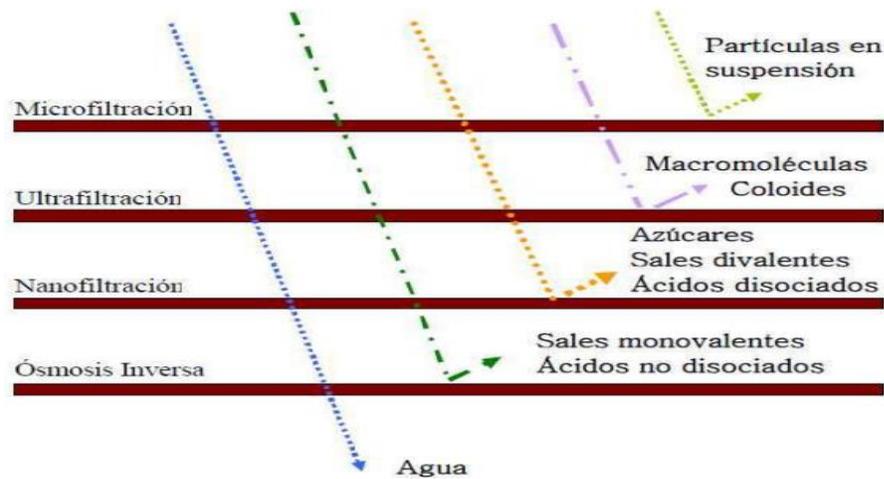
a aglomerarse, debido principalmente a la presencia de lactosa cristalina no estructurada, que puede evitarse al incluir una fase adicional de pre cristalización antes del secado por atomización [71].

2.3.12. Separación por membranas

La tecnología de membranas es una serie de operaciones de separación de uno o más componentes de una fase líquida donde se utiliza una membrana permeable selectiva al componente que se desee contener. Para efectuar este proceso se requiere una fuerza impulsora (gradiente de potencial eléctrico, gradiente de concentración, o gradiente de presión). La clasificación de los diferentes tipos de membrana se da por medio de la propiedad de la especie a separar como son: el tamaño, presión de vapor, punto de congelación, afinidad, carga, densidad y naturaleza química. Los diferentes tipos de membrana se dan por el tamaño de poro, las operaciones son: la microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (OI) [72], en la figura 9 es posible apreciar las partículas y moléculas que se pueden separar de acuerdo al tipo de membrana que se utilice.

Figura 9.

Tamaño de partícula que puede atravesar cada membrana.



Nota. La figura muestra la separación de las moléculas de acuerdo al tipo de filtración que se aplique. Tomado de: L. C. Irezabal, “Filtración por membrana,” 2014. http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/filtracion_por_membrana.pdf.

2.4. Preselección de alternativas de aprovechamiento

2.4.1. Panorama general de procesos y productos

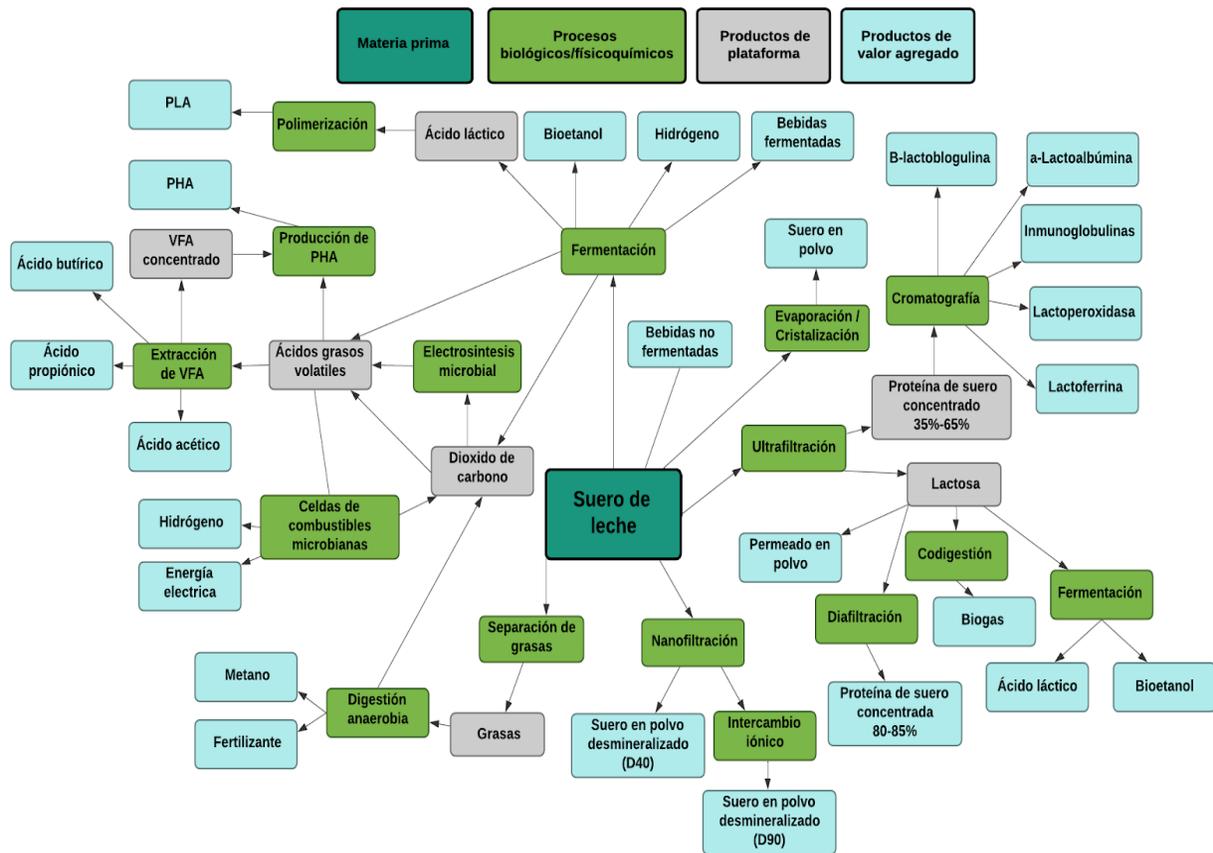
En la sección anterior se presentaron de manera global los conceptos de las diferentes alternativas de valorización del lactosuero. La producción científica de las tendencias de los tratamientos, técnicas, métodos y procesos de aprovechamiento generadas a partir del análisis Bibliométrico, permitió la identificación de los productos que pueden obtenerse a partir de este coproducto, por medio de procesos directos, así como aquellos que necesitan un mayor número de operaciones unitarias empleando rutas más complejas.

En la figura 10, se pueden apreciar las rutas de procesos para los diferentes productos de valor agregado, clasificando por medio de un código de colores: la materia prima, que corresponde al lactosuero; los procesos de aprovechamiento, que pueden ser físicos, biológicos o químicos; los productos de plataforma, que son productos que pueden ser

base para aplicar otro proceso de aprovechamiento y lograr un producto de mayor interés; y los productos de valor agregado.

Figura 10.

Árbol de procesos de valorización del lactosuero.



Nota. La figura muestra el diagrama que relaciona los procesos de aprovechamiento con los productos que se obtienen a partir de ello.

2.4.2. Método de preselección

Debido a la gran variedad de productos que se pueden obtener a partir del lactosuero, se decidió evaluar el nivel de desarrollo o madurez tecnológica [74] que poseen los procesos para la obtención de cada producto, clasificándolos de acuerdo a los TRLs expuestos en la tabla 13, los cuales permiten catalogar las tecnologías de acuerdo al grado de avance industrial tecnológico que posean.

Con esto, fue posible filtrar los productos de valor agregado que cuentan con aplicaciones en un entorno real, de los productos que aún se encuentran en fase teórica, de laboratorio o en simulación, ya que la técnica de aprovechamiento que se pretende implementar en Quesillos Armero Guayabal debe acoplarse a una escala industrial y por su parte, los procesos que se encuentran en fases menos avanzadas representan mayores costos de aplicación y desarrollo.

Tabla 13.

Niveles de madurez tecnológica.

NIVELES DE MADUREZ DE LA TECNOLOGÍA	
TRL 1	Principios básicos observados y reportados
TRL 2	Concepto y/o aplicación tecnológica formulada
TRL 3	Función crítica analítica y experimental y/o prueba de concepto característica
TRL 4	Validación de componente y/o disposición de los mismos en entorno de laboratorio
TRL 5	Validación de componente y/o disposición de los mismos en un entorno relevante
TRL 6	Modelo de sistema o subsistema o demostración de prototipo en un entorno relevante
TRL 7	Demostración de sistema o prototipo en un entorno real
TRL 8	Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones
TRL 9	Sistema probado con éxito en entorno real

Nota. La tabla presenta el significado que posee cada uno de los 9 niveles de desarrollo o madurez tecnológica. Tomado de: T. E. I. Departamento administrativo de ciencia and - colciencias, “niveles de madurez de la tecnología technology readiness levels.trls.,” Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), 2016. <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo-13-niveles-madurez-tecnologica-conv.pdf>.

Posterior a esta primera reducción de alternativas, se procedió a indagar sobre metodologías recientes relacionadas con el análisis holístico de los procesos de evaluación y selección de tecnologías en el campo de la ciencia y la recuperación de residuos. Para la elección del método de preselección se tuvieron en cuenta

principalmente los artículos y estudios de investigación más relacionados con el tema. Los autores Ibáñez, Bovea y Pérez [75] realizan un completo análisis de las principales técnicas utilizadas para la evaluación y selección de tecnologías enfocadas a la sostenibilidad, en donde resalta el método de proceso jerárquico analítico (AHP), el cual se considera como una de las técnicas más completas, ordenadas y efectivas para la simplificación de decisiones complejas.

Similarmente, los autores Mehmet, Surendra y Battaïac [76] evalúan las técnicas de análisis multicriterio incluyendo el proceso AHP, con el fin de analizar el entorno de ejecución de diseños de productos alternativos. Por lo anterior, se consideró conveniente la implementación del método AHP para realizar la preselección de los tres productos más favorables para el aprovechamiento del lactosuero.

La metodología del proceso de análisis jerárquico realizada en el presente proyecto, se llevó a cabo bajo una adaptación de las fases seguidas por los autores Shahnazaria, Rafieea, Rohania, Bhushan, Ebrahiminika y Aghkhanian [77] en donde, inicialmente es necesario tener claridad sobre las alternativas y los criterios a evaluar, posteriormente se tiene en cuenta la escala de importancia relativa propuesta por Thomas Saaty, expuesta en la tabla 14, la cual establece los niveles de importancia para la calificación de los criterios y alternativas en el desarrollo de las matrices de comparación y finalmente, se analiza la mejor alternativa de acuerdo a los pesos obtenidos. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta algunos ejemplos de aplicación [78] que detallan el paso a paso del desarrollo general de las matrices implicadas.

Tabla 14.

Escala de importancia relativa de Saaty.

Valor Numérico	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Importancia fuerte
7	Importancia muy fuerte
9	Absolutamente importante
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios

Nota. La tabla muestra el significado de los valores numéricos con los que se evalúan los criterios y alternativas en el método AHP. Tomado de: A. Shahnazari, M. Rafiee, A. Rohani, B. Bhushan Nagar, M. A. Ebrahimi, and M. H. Aghkhani, "Identification of effective factors to select energy recovery technologies from municipal solid waste using multi-criteria decision making (MCDM): A review of thermochemical technologies," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 40, no. May, 2020, disponible en: 10.1016/j.seta.2020.100737.

2.4.3. Criterios de selección y pesos establecidos

De acuerdo a Ibáñez, Bovea y Pérez [75], los métodos para seleccionar los criterios de evaluación se pueden dividir en dos grandes grupos, los métodos racionales y los métodos basados en la subjetividad, debido al propósito principal del proyecto los criterios fueron propuestos a partir de algunas recomendaciones bibliográficas, las necesidades de la empresa y la naturaleza teórica de la investigación, en donde se le otorgó mayor relevancia y peso a aquellos criterios que fueron considerados de mayor importancia según los administradores de Quesillos Armero Guayabal y algunas recomendaciones propias de ingeniería. A continuación, se presentan los criterios que se definieron para evaluar las alternativas previamente filtradas, junto con su justificación.

- **Baja complejidad del proceso:** Este criterio se ajusta a las limitaciones de la empresa, ya que al encontrarse en una zona rural de Colombia y no contar con los recursos suficientes, se dificultaría la aplicación de tecnología de difícil acceso o implementación, por lo cual, la simplicidad de los procesos en este caso es un factor que favorece a Quesillos Armero Guayabal. Este criterio se evaluó de acuerdo a la cantidad de operaciones unitarias requeridas para la elaboración de cada producto analizado, y de acuerdo a las consideraciones de la empresa es el criterio que debe contar con un peso superior.
- **Ingreso por venta:** Corresponde a la proyección o remuneración económica que se podría obtener por la venta de cada producto en el mercado al utilizar una tonelada de lactosuero para su elaboración. Este criterio permite comprobar la sustentabilidad que generarían los productos para la empresa al crear un equilibrio beneficioso y sostenible a largo plazo mediante el aprovechamiento del lactosuero.
- **Rendimiento industrial aproximado:** Se consideró como la cantidad de producto en kilogramos que se podía llegar a producir al utilizar para su obtención 100 kg de lactosuero. De acuerdo a este criterio, es posible que se aumente la probabilidad de éxito del producto y de la técnica de aprovechamiento que se pretenda implementar, ya que se aseguran los beneficios de operación del proceso sobre el consumo de lactosuero.

Una vez determinados los criterios de evaluación, se procede a calificar cada criterio comprando la relevancia que tienen entre sí, de acuerdo a la importancia que representan unos sobre otros para la empresa. La tabla 15 muestra la valoración que se tuvo entre estos criterios, junto con la ponderación final de los mismos, que indica el valor de relevancia que tendrán al evaluarlos en relación a las alternativas.

Tabla 15.*Matriz de comparación de criterios de preselección.*

CRITERIOS	BCP	IPV	RIA	MATRIZ NORMALIZADA			PONDERACIÓN
Baja complejidad del proceso de obtención	1	5	3	0.65	0.56	0.69	0.63
Ingreso por venta (USD/tonelada suero líquido)	1/5	1	1/3	0.13	0.11	0.08	0.11
Rendimiento industrial aproximado (kg/100 kg de suero líquido)	1/3	3	1	0.22	0.33	0.23	0.26
TOTAL	1.53	9.00	4.33				

Nota. La tabla muestra la calificación sobre la importancia de los criterios de evaluación, comparándolos entre sí.

Dentro del desarrollo del método AHP, existe un índice llamado relación de consistencia, que permite comprobar si la calificación de los criterios se ha realizado de una forma razonable, su valor se calcula al dividir el índice de consistencia entre la consistencia aleatoria de los datos, la relación resultante debe ser inferior a 0.1 para poder confirmar que se ha llevado a cabo una ponderación razonable de los criterios, en el Anexo 10 se muestra el desarrollo de esta validación.

2.4.4. Resultados de la preselección

Al realizar la filtración inicial de las alternativas según los niveles de madurez tecnológica, se logró reducir el número de opciones de productos aprovechables para la aplicación en Quesillos Armero Guayabal. La tabla 16, relaciona cada producto con su respectivo proceso de obtención y la valoración del nivel de desarrollo de estas tecnologías, sustentando dicha evaluación según fuentes que comprueban el nivel o grado de su aplicación.

Tabla 16.*Evaluación de la madurez tecnológica.*

PRODUCTOS	PROCESOS	TRL	REFERENCIAS
Ácido cítrico	Fermentación anaerobia	4	[79], [80]
Ácido hialurónico	Fermentación microbiana	2	[81]
Ácido Láctico	Fermentación anaerobia	6	[82], [83]
Ácido acético	Fermentación anaerobia	4	[14], [84]
Ácido butírico	Fermentación	2	[4]
Ácido propiónico	Fermentación láctica	4	[4]
Aislado de Proteínas	Separación por Membranas	9	[85], [86]
Bebidas a base de suero	Filtrado, agitación, pasteurización	9	[86], [87], [88]
Bioetanol	Fermentación Alcohólica	4	[89], [90]
Biogás/Biofertilizantes	Digestión anaerobia	9	[91]
Bio-H ₂	Celdas de electrólisis Microbiana	4	[92]
Biomasa	Fermentación	7	[4]
Concentrado de Proteínas	Separación por Membranas	9	[93], [94]
Energía eléctrica	Celdas de Combustible Microbiana	4	[58]
Glicomacropéptido – GMP	Precipitación	4	[95]
Lactosa	Cristalización	9	[96]
Ácido poliláctico (PLA)	Polimerización	7	[97], [98]
Proteínas	cromatografía	4	[99]
Suero concentrado líquido	Separación por Membranas	9	[86]
Suero desmineralizado	Electrodialisis	9	[100]
Suero en polvo	Secado por aspersión	9	[101]

Nota. La tabla muestra la calificación de cada producto en relación a su proceso de obtención de acuerdo al grado de madurez tecnológica que posee, justificado según las referencias.

Posteriormente, se aplicó el proceso jerárquico analítico a los productos que resultaron de tecnologías con un grado de aplicación en un entorno real con éxito, valorados con un TRL de 9. La matriz se desarrolló de acuerdo a las intenciones principales de la empresa, dándole mayor prioridad a los productos que no tuvieran un grado de complejidad elevado, y que generarán la mayor rentabilidad respecto al uso del lactosuero. El completo desarrollo del proceso de análisis jerárquico se expone en el

Anexo 11, en donde se detallan las matrices de comparación para las diferentes alternativas y sus respectivas ponderaciones.

Como resultado, de acuerdo a la tabla 17, se obtuvieron los productos, suero concentrado líquido, bebidas a base de suero y biogás / biofertilizantes como las alternativas de aprovechamiento más convenientes para implementar en la empresa, estas opciones permiten generarle un valor agregado al efluente, minimizando el impacto ambiental que causa su vertimiento, y proporcionando un ingreso económico de venta.

Tabla 17.

Resultado matriz de preselección de alternativas de aprovechamiento.

CRITERIO / ALTERNATIVA	Baja complejidad del proceso de obtención	Ingreso por venta (\$/tonelada suero líquido)	Rendimiento industrial aproximado (kg/100 kg de suero líquido)	PRIORIZACIÓN
Aislado de proteínas	0.028	0.383	0.021	0.064
Bebidas a base de suero	0.122	0.160	0.404	0.200
Biogás / Fertilizantes	0.256	0.023	0.227	0.224
Concentrado de Proteínas	0.077	0.069	0.032	0.065
Lactosa	0.142	0.104	0.042	0.112
Suero concentrado líquido	0.142	0.032	0.147	0.132
Suero desmineralizado	0.134	0.050	0.069	0.108
Suero en polvo	0.098	0.179	0.058	0.096
PONDERACIÓN	0.63	0.11	0.26	

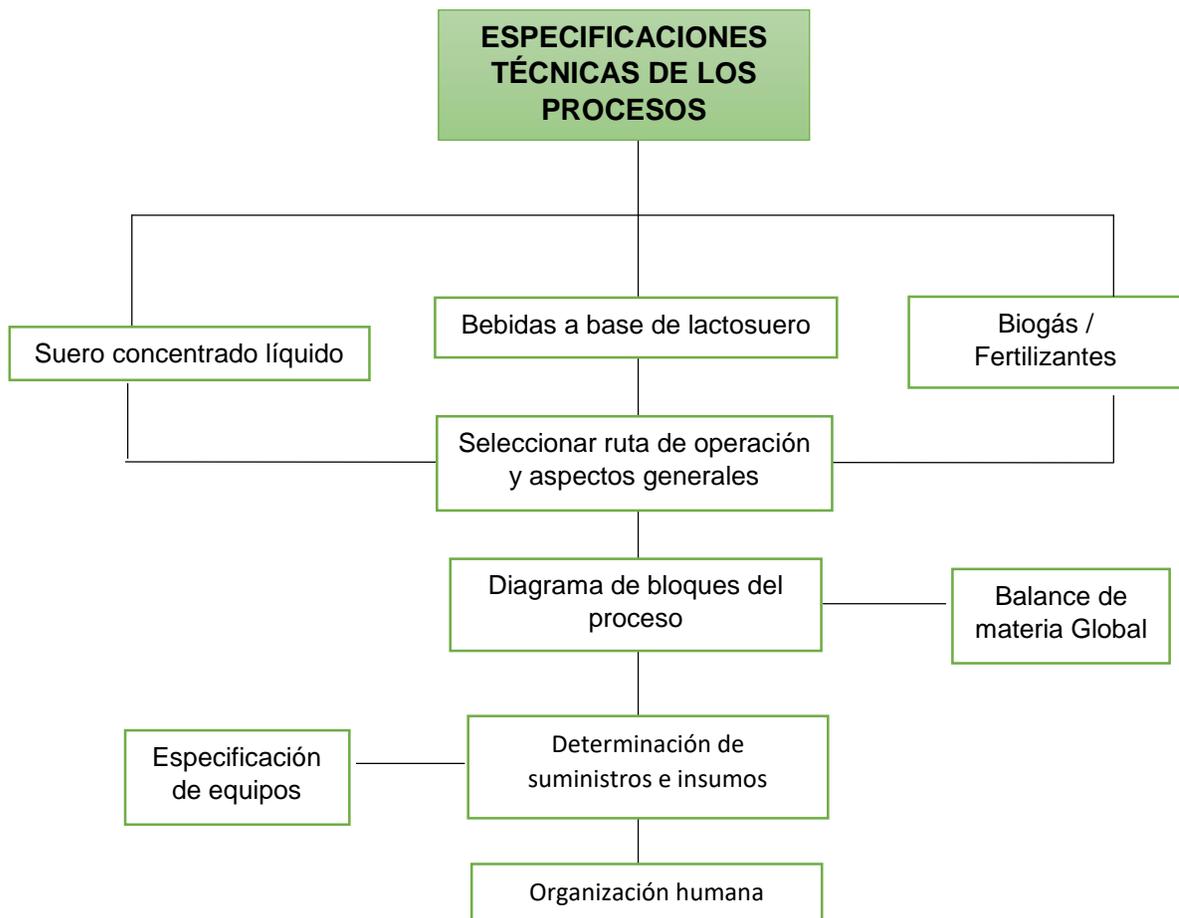
Nota. La tabla presenta los resultados de la priorización de las alternativas de aprovechamiento al aplicar el método AHP

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PROCESOS DE APROVECHAMIENTO

En el siguiente apartado se expondrán las características técnicas de los procesos de obtención para los tres productos seleccionados previamente, se incluirá la identificación y descripción de los procesos, algunos aspectos de la organización humana que se requiere para la correcta operación de cada proyecto, así como las especificaciones y características de los equipos necesarios en cada caso. En la figura 11 se muestra la metodología general de trabajo que se llevará a cabo para el desarrollo de esta sección.

Figura 11.

Diagrama de la metodología de resolución del segundo objetivo.



Nota. La figura muestra el esquema general para el desarrollo del segundo objetivo del proyecto.

3.1. Ruta general del proceso

Se realizó una revisión teórica de las rutas de obtención de los productos, así como de algunos aspectos relevantes sobre el procesamiento y desarrollo general de los mismos. Para decidir la ruta más conveniente se tuvo en cuenta principalmente la mayor cantidad de información disponible y la simplicidad de los procesos en cuanto a desarrollo, operación y costos.

3.1.1. Bebidas a base de lactosuero

Las bebidas a base de suero ya cuentan con un posicionamiento importante en el mercado nacional [102]. De acuerdo al valor agregado, los ingredientes y las características que conforman los productos, se pueden encontrar bebidas a base de lactosuero refrescantes no fermentadas, fermentadas, funcionales, prebióticas y energizantes [103].

Estos productos se consideran alimentos de consistencia líquida, que aportan nutrientes y proteínas al organismo. El lactosuero ácido es más compatible con la elaboración de bebidas que impliquen la adición de frutas ácidas, como naranja, fresa, limón, mango, maracuyá, entre otras, mientras que el lactosuero dulce se asocia principalmente a la obtención de bebidas fermentadas debido al alto contenido de lactosa [86].

Se seleccionó el proceso de obtención de bebidas refrescantes no fermentadas, ya que se requiere una menor cantidad de ingredientes, el procedimiento es relativamente sencillo en comparación al resto de bebidas, es una aplicación que cuenta con múltiples estudios y se acopla al tipo de lactosuero ácido que genera Quesillos Armero Guayabal.

3.1.2. Biogás y Biofertilizantes

El biogás puede obtenerse a partir de diversos residuos orgánicos que se someten a un proceso de digestión anaerobia, este producto se desarrolla por medio de un biodigestor y proporciona un elevado valor energético debido al alto contenido de metano que posee, adicionalmente, se genera un residuo sólido en forma de bio-fertilizante, que permite generar un impacto ambiental positivo al ser una opción para disminuir el uso de fertilizantes químicos [104].

El lactosuero representa una alternativa considerable para la obtención de biogás debido principalmente a su consistencia líquida y a la composición de sólidos totales y volátiles que posee, ya que permite el uso de digestores pequeños, una manipulación relativamente sencilla y una alta producción de biogás [104]. Sin embargo, es importante tener en cuenta la configuración del biodigestor a utilizar, en donde se deben considerar aspectos del proceso como la temperatura, el tipo de mezcla a tratar, el tiempo de retención hidráulica, el pH, entre otros.

Del tipo de reactor seleccionado dependerán los costos de implementación y operación, para este caso, se decidió evaluar una secuencia de dos reactores continuos, uno acidogénico y uno metanogénico [105], ya que, teniendo en cuenta las características generales de composición del lactosuero se debe buscar favorecer la proliferación de los microorganismos en las tres etapas que componen la digestión anaerobia (hidrólisis, acidificación y metanogénesis) [86]. La ruta de operación seleccionada se justifica debido al interés de generar un producto de valor agregado en mayor proporción como lo es el biogás y no solo retirar contenido de carga orgánica de este fluente.

3.1.3. Suero concentrado líquido

Este producto corresponde a un suero con un nivel superior de sólidos totales (18-22%), puede obtenerse a partir de un proceso de evaporación, o bien por una pre concentración por membranas de nanofiltración u ósmosis inversa [86]. El suero concentrado líquido se produce principalmente por queserías medianas y pequeñas para ser vendido a grandes industrias que cuenten con tecnologías de secado más avanzadas.

Dentro del proceso de obtención del suero concentrado, es necesario que este pase por un pretratamiento inicial, en donde será acondicionado con el fin de cumplir con las características necesarias para poder ser concentrado. Los procesos de pretratamiento se realizan con la intención de eliminar la caseína coagulada y grasas restantes provenientes de la producción del queso, para evitar el taponamiento por la acumulación de sólidos en el proceso de ultrafiltración, adicionalmente, también se realiza una pasteurización para inactivar las enzimas, bacterias y microorganismos que puedan encontrarse presentes y ocasionar enfermedades [106].

Las operaciones de secado que pueden aplicarse al lactosuero representan gastos energéticos muy elevados, estas opciones se consideran usualmente cuando los volúmenes de lactosuero son superiores a los 600000 litros diarios [86]. Por su parte, la dificultad de la tecnología de membrana para el tratamiento del lactosuero está relacionada directamente con la concentración que se desee obtener, ya que, a mayor concentración en el producto final, mayor será la complejidad del proceso y su valor en el mercado [106].

Se decidió implementar la opción más sencilla para concentrar el suero líquido, la cual consta del proceso de ultrafiltración, debido a que los volúmenes de trabajo para la empresa no son lo suficientemente elevados para realizar otro tipo de operaciones o incluir más operaciones como la nanofiltración o la ósmosis inversa.

3.2. Descripción de los procesos de obtención

A continuación, se expondrá de manera general los diagramas de flujo de los procesos de obtención para los tres productos evaluados, junto con las condiciones de operación más relevantes normalizadas a las condiciones de la empresa, basadas en la revisión de diferentes fuentes bibliográficas. Se tomará como base de cálculo la producción de 1000 L de lactosuero generados diariamente por la empresa.

Se consideró el promedio del valor de la densidad del lactosuero al estandarizar los datos de 5 fuentes consultadas, [86], [107], [108], [109], [110], en donde se realizaron repetidos procedimientos experimentales para la determinación de este parámetro, incluyendo la evaluación de los diferentes tipos de sueros producidos por la empresa nacional Cooperativa Colanta. En total se promediaron y evaluaron 31 datos sobre el parámetro, de esta manera se logró obtener un valor de densidad que corresponde a 1.02634 g/cm^3 . A partir de estos datos y validaciones científicas conceptuales, se realizará un escalamiento de los procesos de obtención para cada producto.

En las bebidas a base de lactosuero y suero concentrado líquido se debe realizar un pretratamiento del residuo, donde se incluye un filtrado, pasteurizado y almacenado en condiciones óptimas para la inocuidad por un tiempo no mayor a 24 horas. En la

obtención de estos productos se puede adicionar un proceso de descremado, que es opcional según el uso final del lactosuero (esta etapa se realizaría después del filtrado). En la producción de biogás, los requerimientos de calidad son menores y pueden omitirse estos pasos [86].

3.2.1. Proceso de producción de bebida a base de lactosuero

La cantidad de lactosuero que se produce a diario por la empresa, no se considera lo suficientemente extensa como para implementar un sistema continuo automatizado, por lo que se decidió trabajar bajo un modelo de proceso por lotes relativamente pequeños para evitar los tiempos muertos y trayectos innecesarios de materia. El proceso de obtención de las bebidas no fermentadas a base de suero, parte de la recepción del lactosuero proveniente de la fabricación del queso.

Se realiza un proceso de separación o filtración inicial para eliminar los remanentes de caseína o partes de queso que no se compactaron totalmente, esta fracción corresponde generalmente a parte de las grasas que contiene el total del lactosuero (0.05% (P/P)) [106]. La etapa de filtración se adaptaría al tanque de recepción y se realizaría de forma continua al ir produciéndose lactosuero dentro de las actividades normales de la empresa.

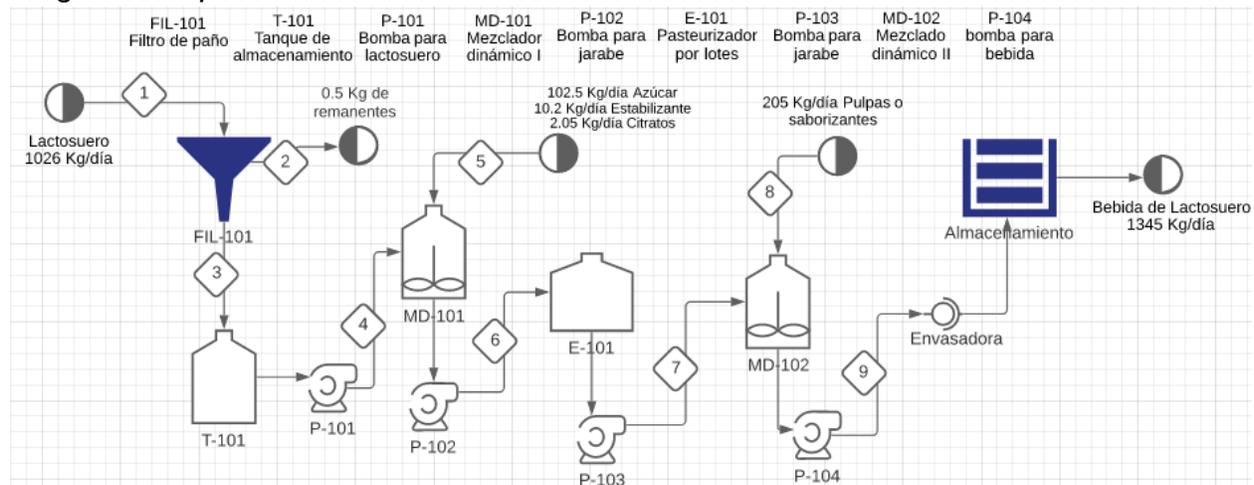
Seguido a esto, el lote de 1000 L pasaría a un tanque de mezcla, en donde se realizaría la adición de los componentes secos llevando a cabo una etapa de mezclado con agitación moderada y un calentamiento de 45°C, con lo que se promueve la correcta hidratación y homogeneización de todos los ingredientes sólidos que incluyen azúcares (2-10%), estabilizantes (0.1-1%) y citratos (0.05-0.2%) [86]. Se tomarán los valores de los porcentajes más altos de los ingredientes que se deben adicionar, con el fin de evaluar el escenario que podría representar mayores costos y materiales para la empresa.

Posteriormente, se lleva a cabo una etapa de pasteurización a 63°C por 30 minutos y una etapa de enfriamiento de todo el lote en el mismo equipo, en donde el efluente sale del intercambiador a una temperatura de 4°C, para finalmente adicionar el jugo

concentrado o pulpa de frutas que representa entre el 5 y 20% de la formulación, el producto final es envasado y almacenado a 4°C [86]. La figura 12 muestra el diagrama PFD del proceso que se llevaría a cabo para la elaboración de este tipo de bebidas, las condiciones específicas de cada corriente y los balances de materia se adjuntara en la sección 13 de anexos.

Figura 12.

Diagrama de proceso de la elaboración de bebida a base de lactosuero.



Nota. La figura presenta el desarrollo general de la ruta de obtención seleccionada para la elaboración de bebidas a base de lactosuero, la cual fue adaptada a partir de referencias conceptuales.

En comparación a otras industrias de bebidas la producción sería pequeña y el producto se encontraría en fase de desarrollo por lo que su obtención por lotes sería conveniente en este caso.

3.2.2. Proceso de obtención de biogás a partir de lactosuero

Para obtener biogás, se debe realizar un tratamiento previo del lactosuero con el fin de acondicionar sus características para favorecer las etapas de la digestión anaerobia, en esta fase se realiza esencialmente una filtración del efluente para retirar los restos de caseína y residuos sólidos existentes [111]. Otro factor importante a tener en cuenta es la temperatura del reactor, que según recomendaciones debe ser aproximadamente de 30°C (+/- 5°C), Quesillos Armero Guayabal se encuentra ubicada en una zona trópica

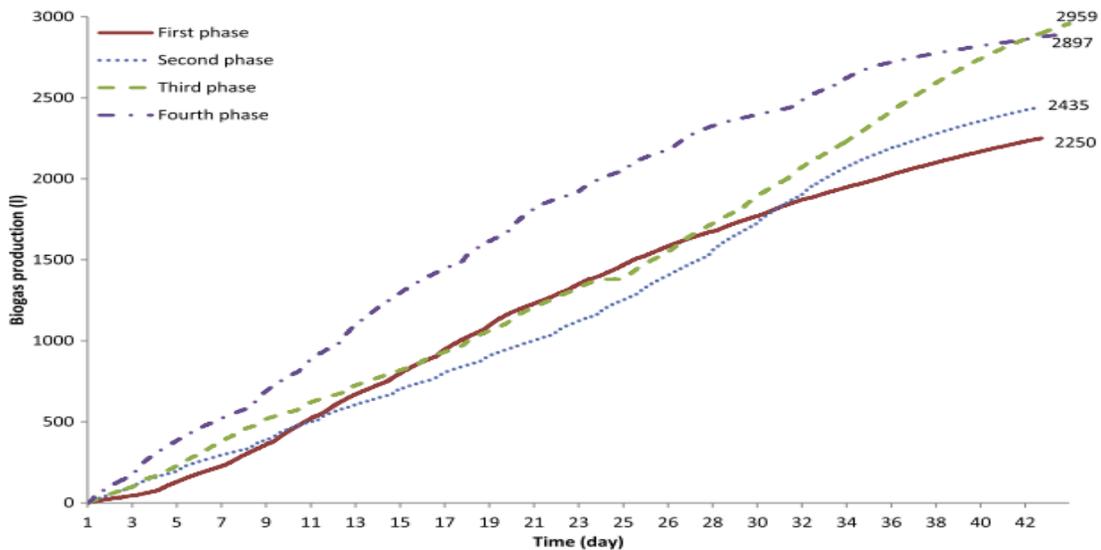
bajo, en donde se dan temperaturas de 25°C hasta 35°C, lo cual evitaría el implementar resistencias eléctricas ayudando a disminuir los costos de operación.

El tiempo de retención hidráulica determina el tamaño del biodigestor y su costo, el suero de queso tiene un bajo tiempo de retención hidráulica, entre los 3 y 10 días [104]. Sin embargo, al realizar una codigestión con la relación 35% estiércol y 65% suero, la retención hidráulica es de 28 días [112]. De acuerdo a la FAO el proceso es semicontinuo, mientras que la alimentación se lleva a cabo por lotes, el biogás se obtiene de manera continua.

Para lograr un mejor desempeño y acondicionamiento del reactor, se inicia la lechada con lactosuero y estiércol, esta fase dura 34 días y es realizada por lotes, aparte de esto se le suma otros 7 días de reposo anaeróbico sin alimentación. La alimentación se realiza 3 veces por semana, se retira de sustrato un promedio del 10% al 5% de lo alimentado del total en peso y se alimenta el mismo peso retirado con relación 1:4 de lechada y suero [64]. Por último, al cumplir estos días, se puede seguir operando el reactor con la alimentación deseada, la recomendación de la mezcla de alimentación se muestra en según la figura 13 que expone las posibles cantidades de biogás que se puede conseguir con distintas relaciones de estiércol y lactosuero.

Figura 13.

Comparación de la producción de biogás para 4 proporciones.

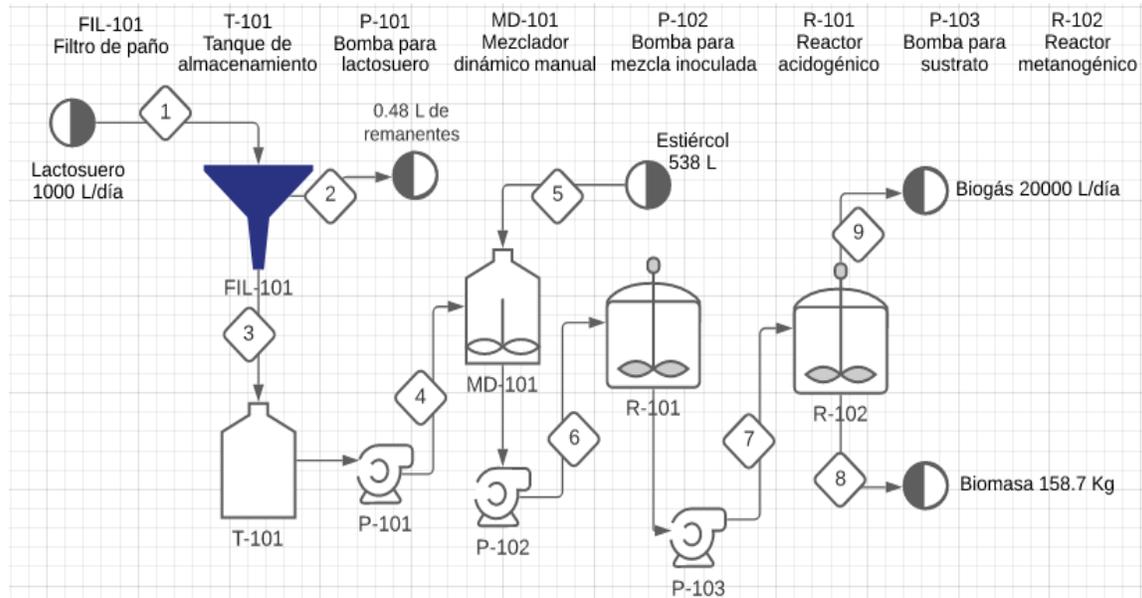


Nota. En el gráfico se muestra la primera fase con 80% estiércol – 20% suero, segunda fase con 65% estiércol – 35% suero, la tercera fase 50% estiércol – 50% suero y la cuarta fase 35% estiércol – 65% suero. Tomado de: E. Comino, V. A. Riggio, and M. Rosso, “Biogas production by anaerobic co-digestion of cattle slurry and cheese whey,” *Bioresour. Technol.*, vol. 114, pp. 46–53, 2012, disponible en: [10.1016/j.biortech.2012.02.090](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.090).

Una vez acondicionado el reactor, se llevaría a cabo diariamente una mezcla del inóculo y estiércol vacuno que es incubado a 26°C e ingresar al sistema de biodigestión, que consta de dos etapas, un reactor acidogénico con agitación, en donde dura aproximadamente 24 horas, a una temperatura de operación de 30°C y una remoción constante. Luego, la mezcla se traslada a un reactor metanogénico manteniendo una agitación de 200 rpm por aproximadamente 1 hora todos los días, un pH que varía entre 7.2 y 8.5 y una temperatura de 30°C. En la figura 14, se muestra el desarrollo general del proceso, junto con las cantidades y proporciones de lactosuero y estiércol vacuno inoculado en el sistema.

Figura 14.

Diagrama de proceso de obtención de biogás a partir de lactosuero.



Nota. La figura muestra el flujo del proceso de obtención de biogás a partir de lactosuero, el proceso se planteó mediante una adaptación bibliográfica [64].

Los resultados de la producción de energía pueden variar por muchos factores, relacionados principalmente a las condiciones de operación y a la composición de los sustratos, sin embargo, en la tabla 18 se presentan algunos resultados generales que pueden obtenerse evaluados a nivel investigativo.

Tabla 18.

Producción de metano por unidad de suero de queso y equivalente en GLP.

Fuente	m³ de metano por m³ de lactosuero	Kg de GLP equivalente por m³ de suero (aprox)
INTI 2014	9,6	7,7
Chatzipaschali et al 2012	20	16
Valbio	18	11
Caterpillar	23	18
Proyecto Arla Holstebro Flodeost (Dinamarca)	21	17
Proyecto Blackburn Cheese Dairy (Canadá)	20	16
Proyecto La Vache a Maillotte Cheese Dairy (Canadá)	21	17
Erguder (2001) y Mawson (1994) en Viquez Arias (2012)	13-22	10.4-17.6

Nota. GLP: Gas licuado de petróleo. Tomado de: F. Hernández, "Producción de biogás con suero de quesería. Tratamiento y generación de energía renovable a partir de lactosuero.," p. 43, 2015, [Online]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2W2gBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=suero+de+queseria+biogas&ots=48_04p-d0Z&sig=KEUaMWkzI0TBOXt-GcsO7APEfds&redir_esc=y#v=onepage&q=suero de queseria biogas&f=false.

El valor energético del biogás es de 6,27 kW a 6,5 kW de energía a un biogás con un 70% de metano [113]. Para calcular la generación de electricidad a partir de biogás, se estima un valor de conversión de m³ de biogás a kWh. La tabla 19 muestra los posibles valores de diferentes productos, en donde se identifica un valor real de la capacidad energética del biogás con un valor de 6 kWh por m³ de biogás.

Tabla 19.

Poder calorífico de diferentes gases.

Comparación de biogás con otros gases en poder calorífico	
Tipos de gas	kWh/m³
Biogás	6
Gas natural	10
Propano	26
Metano	10
Hidrogeno	3

Nota. La tabla muestra el poder calorífico de diferentes gases con respecto a 1 m³ de cada tipo de gas. Tomado de: M. Gabriel, "Estudio Del Biogás En Biodigestores," p. 11, 2017

Con la conversión se puede realizar un cálculo ilustrativo, tomando nuestra base de 1m³ de lactosuero al día y basándonos en la tabla de producción de 20m³ de biogás por m³ de lactosuero, se puede sostener 120 kWh por día.

Para la resolución de los cálculos y el diseño de un biodigestor más detallado, el Manual del Biogás de la FAO [115] es de gran utilidad, muestra los cálculos necesarios para dimensionar y desarrollar un biodigestor.

3.2.3. Proceso de producción de suero concentrado líquido

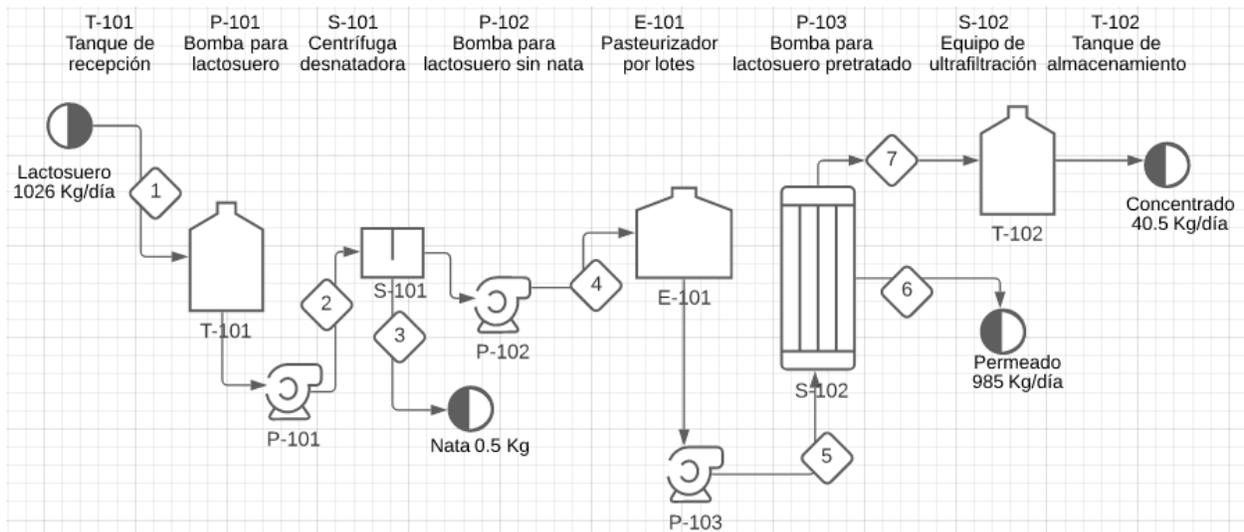
Como primera instancia se lleva a cabo el pretratamiento del lactosuero, que consiste en el proceso de desnatado por medio de una centrifugación por lotes de 1000 L, en donde se elimina aproximadamente el 0.05% (P/P) de nata o porcentaje de grasas; seguido a esto, se inactivan los microorganismos y bacterias que puedan estar presentes en el lactosuero por medio de una pasteurización Batch, en donde el efluente se somete a una temperatura de 63°C por 30 minutos y luego, se realiza una etapa de enfriamiento en el mismo equipo para que salga a 4°C.

Posteriormente, como se muestra en la figura 15 del diagrama PFD del proceso, se lleva a cabo el tratamiento de ultrafiltración, esta etapa se realiza de manera continua, ya que

el lactosuero pretratado ingresa de forma tangencial a un módulo tubular de membranas para separar dos corrientes, el concentrado que contiene las proteínas importantes del lactosuero, y el permeado que sale de forma perpendicular respecto al módulo tubular, esta última etapa se visualiza de mejor forma en la figura 16, donde se emplea un diseño de flujo continuo de paso simple para la ultrafiltración sin recirculación.

Figura 15.

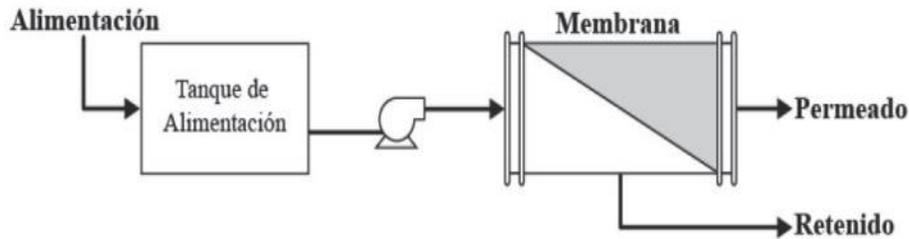
Diagrama de proceso de la obtención de suero concentrado líquido.



Nota. La figura expone el esquema de las etapas del proceso de obtención de suero concentrado líquido, mediante una adaptación teórica del proceso [93].

Figura 16.

Diseño de paso simple de ultrafiltración.



Nota. Se muestra la representación gráfica del proceso de ultrafiltración de paso simple. Tomado de: C. A. Solís Carvajal, C. A. Vélez Pasos, and J. S. Ramírez-Navas, “Tecnología de membranas: Ultrafiltración,” *Entre Cienc. e Ing.*, vol. 11, no. 22, p. 26, 2017, disponible en: [10.31908/19098367.3546](https://doi.org/10.31908/19098367.3546).

Se indaga a nivel teórico el balance de los componentes presentes en las corrientes de lactosuero pretratado, concentrado y permeado, con el fin de evaluar el propósito de la ultrafiltración respecto a la variación de los compuestos de interés que se separan con este equipo. La tabla 20 muestra los resultados de la composición que tendrían las corrientes involucradas con la implementación de esta tecnología.

Tabla 20.*Balance de materia teórico para el equipo de ultrafiltración.*

Composición %(P/P)	Lactosuero Acondicionado	Concentrado	Permeado
Proteína	0.6	14.1	0.04
Nitrógeno no Proteico	0.2	0.6	0.18
Lactosa	4.8	5.38	4.78
Cenizas	0.55	1.17	0.53
Grasas	0.05	1.28	0
Sólidos Totales	6.2	22.84	5.53
Agua	93.8	77.16	94.47

Nota. La tabla muestra la composición en %(P/P) de los compuestos de interés del lactosuero y su distribución en las corrientes de lactosuero acondicionado, concentrado y permeado. Tomado de: E. Cantón Albarral, "Estudio Del Diseño De Una Planta De Procesado Para El Aprovechamiento De Lactosuero De Quesería," Universidad Politécnica De Catalunya, 2016.

3.3. Especificaciones de los equipos implicados

A continuación, se presentan las características de los equipos necesarios para la elaboración de las tres alternativas de producto preseleccionadas, especificando los procesos en los que interviene cada equipo. Las decisiones tomadas en esta sección estarán sujetas a cambios de material y diseño de acuerdo a las intenciones y el presupuesto que desee invertir la empresa en el momento de la realización. Teniendo en cuenta que se trata de una empresa pequeña, con una producción de lactosuero diaria de 1000 litros, la mayoría de procesos y de etapas de los mismos se llevaran a cabo por lotes de la misma capacidad, con el fin de evitar el sobredimensionamiento de los equipos.

3.3.1. Tanque de almacenamiento

Son necesarios para almacenar por un tiempo el producto logrando mantenerlo en un estado apto para la producción, este tipo de tanques se implementarían en la elaboración de todos los productos en la etapa de recepción del lactosuero. A excepción del biogás, deben ser fabricado en acero inoxidable por tratarse de alimentos, con una capacidad de

1500 L, se recomienda tener al menos la pared interior de acero inoxidable AISI 316 pulido, pero la exterior puede variar en un acero inoxidable o con otro acero de menor calidad, pero debe estar cubierto con pintura anticorrosiva [117]. Para la parte del drenaje, se recomienda en el fondo tener una pendiente, una inclinación hacia el orificio de salida.

Figura 17.

Tanque de almacenamiento.



Nota. Se muestra el diseño general de un tanque de almacenamiento. Tomado de: Industria de lácteos, “Tanques de almacenamiento | Maquinaria Utilizada en industria Láctea,” 2018. <https://industriadelacteosblog.wordpress.com/maquinas/tanques-de-almacenamiento/>.

3.3.2. Filtro

Para el proceso de filtración de sólidos suspendidos y restos de caseína presente en el lactosuero, se utilizarán paños de un solo uso comúnmente empleados en la elaboración de quesos. Este elemento se implementará únicamente en los procesos de elaboración de bebidas a base de lactosuero, y en la producción de biogás en la fase de filtración inicial respectiva de cada proceso. El filtro corresponde a una gasa de 28 hilos de algodón biodegradable en formato bobina de unos 50 m y 50 cm de ancho [119], que permite retener las impurezas y el queso restante.

Figura 18.

Paños de un solo uso.



Nota. Se expone la imagen real de paños de un solo uso. Tomado de: S. L. teixits torné, “pañós para la elaboración de quesos de un solo uso – gasa 28 hilos,” 2015. <http://textiltorne.es/productos/panos-y-telas-para-la-elaboracion-de-quesos-escurrir-quesos/gasa-de-un-solo-uso/panos-para-la-elaboracion-de-quesos-de-un-solo-uso-gasa-28-hilos/>

3.3.3. Equipo de pasteurización

Este equipo se emplea para eliminar organismos patógenos de los productos alimentarios como leche, refrescos y zumos, por medio de la exposición de los fluidos a altas temperaturas durante poco tiempo, lo que permite asegurar que la bebida sea inocua y apta para el consumo [117].

Se implementará un pasteurizador tipo Batch, debido a la baja capacidad de volumen que se decidió considerar, las superficies que entran en contacto con el producto deben ser fabricadas de acero inoxidable AISI 304 y sus características generales son:

- Doble fondo, tapa abatible, descarga en la parte inferior de 1,5" con válvula mariposa incluida.
- Puente superior en tubo de acero inoxidable para soporte de un motor reductor a corono sin fin en baño de aceite para accionamiento del agitador impulsador por motor eléctrico de 220/440v, 60 hz, de 0,5hp, girando a 30rpms.
- Agitador en acero inoxidable que optimiza el mezclado y enfriamiento homogéneo del producto.
- Incluye sensor de temperatura tipo pt-100 y chaqueta de aislamiento térmico [120].

Figura 19.

Equipo de pasteurización.



Nota. La imagen muestra el equipo de pasteurización tipo Batch. Tomado de: A. C.a., “Agritech,” 2018. <https://agritech.com.ve/productos/pasteurizado-r-batch/>.

Este equipo se implementaría en el proceso de elaboración de la bebida a base de lactosuero y en la obtención de suero concentrado líquido, en la etapa de pasteurización respectiva de cada uno. Respecto a sus especificaciones, debe contar con una capacidad de 1500 L, el fluido ingresa a 4°C y alcanza una temperatura de pasteurización de 63°C, durante un tiempo de retención de 30 minutos. Se prevé un consumo de 4 kWh y un dimensionamiento del equipo de 1.3, 1.5 y 2.7 metros de largo, ancho y alto respectivamente [106].

3.3.4. Tanque de mezcla

Estos tanques, como lo indica su nombre son para mezclar el producto con los ingredientes que se adicionen, se implementaría en los procesos para la obtención de bebidas a base de lactosuero en la etapa de mezcla y de adición de pulpa o saborizantes, y en la producción de biogás para mezclar el inóculo con el estiércol vacuno y en la fase de neutralización al añadir cal. Estos tanques pueden ser aislados o construidos de forma

más sencilla con una camisa simple de acero inoxidable, son aptos para ser utilizados en alimentos, productos lácteos, bebidas y de más [117].

Figura 20.

Tanque de Mezcla.



Nota. La imagen muestra la superficie de un equipo de mezcla industrial. Tomado de: Sunji Machinery Co, “Tanque de mezcla,” 2015. <http://www.sunji.co/project/tanque-de-mezcla-para-productos-viscosos/>

3.3.5. Equipo para envasar

Su función es cargar productos líquidos como agua, leche, gaseosas o productos con conservantes, este equipo se implementaría en el proceso para la obtención de bebidas a base de lactosuero, en la fase de envasado.

Las llenadoras pueden utilizar nitrógeno líquido para mantener estable el envase durante la carga de productos y la destilación. Generalmente cuentan con un sistema de control que por medio de sensores que permite detectar problemas en el proceso de

embotellado y llenado. Este proceso se usa con el fin de distribuir el producto en su correspondiente empaque, vidrio o tetra pack, para así aumentar la duración de sus características organolépticas en un mayor lapso de tiempo [117].

Figura 21.

Maquina llenadora.



Nota. La imagen muestra el equipo industrial para envasar bebidas. Tomado de: Liquidfactory, “llenadoras lineales - botellas,” 2019.

<https://liquidfactory.company/equipos.html>

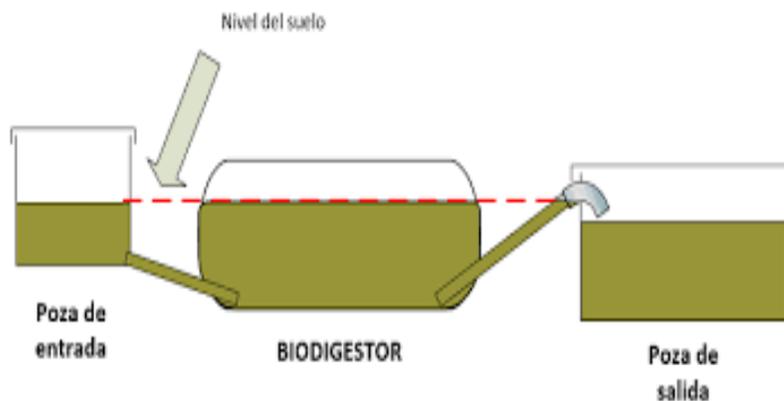
3.3.6. Equipo de digestión

En este proyecto se escogió por economía y facilidad de manejo para la obtención de biogás, el biodigestor tipo Taiwán o biodigestor tubular, el cual es un biodigestor más largo que ancho, la relación longitud/diámetro tiende ser superior a 3. Puede tener una o dos salidas, donde la segunda salida se sitúa en el fondo del equipo y se utiliza exclusivamente en operaciones de mantenimiento o para evitar colmataciones del biodigestor. La instalación puede realizarse directamente en el suelo, sobre un pozo o zanja excavada anteriormente que dará la estructura, la figura 22 muestra el diagrama general del sistema para un reactor acidogénico. Su diseño debe seguir en una forma trapezoidal, más angosta abajo y ancho arriba para lograr un mejor soporte. Además, se

debe instalar una estructura tipo techo, que protegerá al biodigestor de vientos, lluvias y daños mecánicos por exposición directa a los agentes climáticos.

Los materiales de construcción de un biodigestor tubular van desde geomembranas de PVC, EPDM, PDA, o polímeros de distinta densidad y espesor. Los materiales necesarios para un biodigestor son: membrana o rollo de plástico, brida de salida (1 pulgada por lo menos), manguera de riego $\frac{3}{4}$ o $\frac{1}{2}$ pulgada, caño de PVC de 160mm, aislantes, tanque de salida de efluentes, botella de plástico para válvula de seguridad, filtro y trampa de agua, gasómetro (opcional) [122].

Figura 22.
Reactor acidogénico.



Nota. La salida de este reactor iría de alimentación para el reactor acidogénico. Tomado de: M. Daniel and M. Aldana, “Diseño de un biodigestor tubular para zonas rurales de la región piura,” pp. 13–17, 2017.

La otra parte del sistema, es el reactor metanogénico que consta de un tanque cilíndrico negro, fabricado en fibra de vidrio, que permite una resistencia química a los ácidos residuales, alta resistencia ambiental a los cambios climáticos y resistencia mecánica que lo protege de los impactos [124].

Figura 23.

Reactor metanogénico fabricado a pedido



Nota. Este reactor se construye a pedido del cliente teniendo en cuenta sus condiciones, en este caso se agrega un agitador para mejorar el rendimiento. Tomado de: D. Zambrano, J. Isaza, N. Rodriguez, y U. Lopez, “Tratamiento de aguas residuales del lavado del café,” Cenicafe, p. 30, 1999.

3.3.7. Centrífuga

Se utiliza para separar por medio de la fuerza centrífuga, el líquido excedente de algún producto, en este caso se empleará para retirar la nata o grasas del lactosuero en la obtención de suero concentrado líquido. El equipo evaluado consta de una centrífuga, para la recepción aproximada de 500L de volumen, una potencia del motor eléctrico de

3 kW, una velocidad de rotación máxima de 1750 rpm y dimensiones de largo, ancho y alto de 1.67, 1.27 y 1 metro [125] respectivamente.

Figura 24.

Equipo de centrifugación.



Nota. La imagen muestra un equipo de centrifugación industrial. Tomado de: Alibaba, “Flow Ethanol Separator Machine Continuous Centrifuge Industrial Price,” 2020. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/flow-ethanol-separator-machine-continuous-centrifuge-industrial-price-62423758147.html?spm=a2700.8699010.normalList.1.5a11587dM0sg4U>.

3.3.8. Equipo de ultrafiltración

Esta técnica permite concentrar y separar diferentes productos y subproductos de soluciones concentradas a temperatura ambiente. Este proceso con membranas permite disminuir en los efluentes la carga orgánica, también genera beneficios económicos

concentrando las proteínas, se incluiría en la etapa de ultrafiltración para el proceso de obtención de suero concentrado líquido.

El sistema de ultrafiltración consiste en la corriente de alimentación que se introduce en diferentes módulos, donde el agua y soluto de bajo peso molecular (lactosa, grasas) atraviesan la membrana y sale como una corriente llamada “permeado” [93]. Mientras los solutos de más peso molecular y sólidos suspendidos son retenidos por la membrana y salen en otro corriente llamado “concentrado”.

Las membranas empleadas en los procesos de ultrafiltración son de tipo poroso y están fabricadas de polímeros hidrofílicos, como la polisulfona, poliamidas y/o poliuretanos. Los equipos de filtración tangencial están constituidos en acero inoxidable AISI-316, sistema de alimentación producto y agua, control de temperatura, bombas de presión y más sistemas.

Figura 25.

Equipo de ultrafiltración.



Nota. Se ilustra la imagen de un equipo de ultrafiltración real a nivel industrial. Tomado de: Perinox S.A., “Sistemas de filtración y ultrafiltración,” 2019. <http://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Sistemas-de-filtracion-y-Ultrafiltracion-23607.html>.

3.3.9. Bomba

Las bombas centrífugas sanitarias/alimentarias se utilizan en procesos de la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. La baja complejidad de las múltiples partes de la bomba facilita sus mantenimientos, también, el diseño y material permiten mantener un alto estándar en higiene [127]. Se implementarían en todos los procesos específicamente para transportar e impulsar los fluidos.

Figura 26.

Bomba centrífuga alimentaria.



Nota. Se muestra la imagen de la bomba centrífuga industrial que se utilizaría. Tomado de: M. Andinox, “Bomba centrífuga alimentaria/sanitaria,” 2020. <https://www.mcandinox.com/es/productos/bombas/fl50ci/>.

3.4. Organización humana

Quesillos Armero Guayabal se consolida como una empresa pequeña, dado que el personal total de trabajo comprende alrededor de 20 personas que se encargan de cumplir de manera eficiente y satisfactoria los procesos de recepción, producción, administración y venta de sus productos.

Dentro de los procesos de aprovechamiento propuestos, se haría necesario el implementar la mano de obra de personal de trabajo que se encargue de estar pendiente del correcto funcionamiento de los equipos y de la producción en general de los productos. A pesar de que el grado de conocimiento del personal no debe ser demasiado especializado, si se requiere de uno o dos operarios en cada proceso que cumplan ciertas tareas o actividades según el caso, como por ejemplo la manipulación de la

máquina llenadora para la producción de bebidas a base de lactosuero, el retirar la biomasa en la obtención de biogás y el manejo de la centrífuga y el equipo de ultrafiltración para generar suero concentrado líquido.

3.5. Otras consideraciones

Explorando otras alternativas del desarrollo de los procesos, y por consiguiente de la selección y el funcionamiento de los equipos, se pudo llegar a evaluar y comparar algunos aspectos importantes que podrían favorecer o por el contrario perjudicar tanto técnica como económicamente la obtención de los productos.

- Si se considera trabajar bajo un funcionamiento continuo, aumentaría la velocidad del ciclo de fabricación, se optimizaría el uso de las instalaciones y se reducirían los costos de producción al evitar los tiempos muertos de los equipos, paradas de los equipos, y reducción del gasto de materias primas. Sin embargo, esta opción según el tamaño de la empresa que se está considerando, no resulta ser del todo conveniente, ya que al requerir implementar equipos más automatizados, los costos de implementación se incrementan, el aumento del volumen de producción podría representar un inconveniente para una demanda poco masiva, el sistema sería muy especializado para la zona en la que se orienta, su mantenimiento sería complejo y no permitiría ajustar los productos a nuevas situaciones y especificaciones.
- Otra opción a analizar, sería el implementar lotes más grandes, acumulando el lactosuero que se genera por varios días y luego llevando a cabo una producción de mayores dimensiones. Considerando esto, se tendría la ventaja de reducir los costos de operación, ya que los periodos de funcionamiento de los equipos se reducirían, disminuyendo los gastos en servicios energéticos. No obstante, esta alternativa implica la adaptación de equipos de mayores dimensiones que se asocian a costos más elevados de inversión fija y se podría llegar a afectar la inocuidad y calidad de los productos, ya que un tiempo de almacenamiento prolongado podría perjudicar las condiciones óptimas de la materia prima para su uso.

4. ANÁLISIS FINANCIERO

Las capacidades y el dimensionamiento de los equipos se plantearán de acuerdo a las especificaciones propuestas anteriormente, teniendo en cuenta la producción neta de los diferentes productos, se evaluará la cantidad de equipos ignorando los costos del sistema de tuberías, programaciones automatizadas, los costos de instalación y conexión. A continuación, se establecerán los parámetros a considerar para la evaluación de los costos respectivos de inversión, operación e ingresos de cada una de las 3 propuestas.

4.1. Inversión inicial

En este apartado se comprende el valor general total que deberá invertir la empresa en el caso de implementar alguna de las 3 propuestas evaluadas. En cada caso se analizarán los costos de los activos fijos, que corresponden a los equipos necesarios, los costos del capital de trabajo, que comprende los costos de producción, y finalmente los costos diferidos, que se relacionan con las licencias y permisos necesarios para la comercialización de los productos.

4.2. Inversión fija

El dimensionamiento de los equipos se realizó respecto a la producción de lactosuero de 1000 litros diarios, considerando lotes de producción de las mismas magnitudes. Los costos fijos iniciales para el desarrollo de cualquiera de las propuestas evaluadas, estarán dados principalmente por los costos de los equipos y su depreciación, la tabla 21, 22 y 23 presenta los costos unitarios de cada equipo requerido, cotizados para cada proceso.

Tabla 21.*Costos de los equipos para la obtención de bebidas a base de lactosuero*

Bebidas a base de lactosuero			
Equipo	Descripción	Precio por unidad COP	Referencia/Cotización
Tanque de enfriamiento / almacenamiento	Tanque de enfriamiento 1500 litros.	\$20000000	[128]; Agrilac. Cel: 3158625286
Filtro (Paños de un solo uso)	Paño de queso e hilo de cocina grado 50-100% algodón sin blanquear (45 pies cuadrados) Paño de queso para colar con hilo de carnicero de 220 pies.	\$109000	[119]
Tanque mezclador	Tanque mezclador de 1500 litros, agitador tipo hélice, motor de 2 hp.	\$5000000	[129]; [130]
Pasteurizador	Pasteurizador tipo Batch de 1500 litros por hora. Vapor de 3 etapas o de resistencia eléctrica.	\$ 7152600	[131]; Inoxpa. Katerine Díaz, Asesora de ventas. Cel: 3176693958
Envasadora	Llenadora por acción de 4 boquillas semiautomáticas en acero inoxidable. Envasa de 150-200 botellas por hora con capacidad de 100mL a 1000 mL. Gasto energético: 110V 50/60 Hz	\$18400000	[132]; Liquid Factory. Cel: 3022442238
Bomba centrífuga	Bomba sanitaria de acero inoxidable 2HP	\$1467600	[133]
Refrigerador	Congelador con capacidad de 535 litros, con doble chapa de seguridad y un empaque magnético removible que facilita su limpieza en la parte interior.	\$1684900	[134]

Nota. La tabla muestra la cotización por unidad de cada uno de los equipos requeridos para el proceso de bebidas a bases de lactosuero, junto con la debida descripción de lo que incluyen. Algunos proveedores ofrecen capacitación para el correcto uso de los equipos.

Tabla 22.*Costo de los equipos para la obtención de biogás*

Biogás			
Equipo	Descripción	Precio por unidad COP	Referencia/Cotización
Tanque de recepción	Tanque de 2000 litros de fácil manejo para su instalación, transporte y almacenamiento. Poseen aletas que permiten que la tapa permanezca fija y accesorios de conexión.	\$650000	[135]
Kit de biodigestor	Conjunto de biodigestores 45m ³ , estufa quemadora, tanque de mezcla, geomembrana, 50 metros de manguera, válvulas, tina biofertilizante, instalación y seguimiento. Vida útil 25 años. Según proveedor cada 8-10 años	\$11000000	[136]; Sistema Bio. Camilo Arias, Asesor de ventas. Cel: 3144196914
Filtro (Paños de un solo uso)	Paño de queso e hilo de cocina grado 50-100% algodón sin blanquear (45 pies cuadrados) Paño de queso para colar con hilo de carnicero de 220 pies.	\$109000	[110]
Bomba centrífuga	Bomba sanitaria de acero inoxidable 2HP	\$1467600	[133]

Nota. La tabla muestra la cotización por unidad de cada uno de los equipos requeridos para el proceso de obtención de biogás, junto con la debida descripción de lo que incluyen. Algunos proveedores ofrecen capacitación para el correcto uso de los equipos.

Tabla 23.*Costo de los equipos para la obtención de suero concentrado líquido*

Suero concentrado líquido			
Equipo	Descripción	Precio por unidad COP	Referencia/Cotización
Tanque de enfriamiento / almacenamiento	Tanque de enfriamiento 1500 litros.	\$20000000	[128]; Agrilac. Cel: 3158625286
Pasteurizador	Pasteurizador tipo Batch de 1500 litros. Vapor de 3 etapas o de resistencia eléctrica.	\$ 7152600	[131]; Inoxpa. Katerine Díaz, Asesora de ventas. Cel: 3176693958
Bomba centrífuga	Bomba sanitaria en acero inoxidable 2HP	\$1467600	[133]
Equipo de ultrafiltración	Equipo completo de ultrafiltración con capacidad máxima de 1000 litros por hora. Filtros de membrana de máquina esterilizada. Tasas de recuperación del 55%-65%	\$12213250 0 + IVA 19%+ arancel 10%. Costo total: \$27968342 5	[137]
Centrífuga	Centrífuga con capacidad de 500 litros por hora, en acero inoxidable (la más pequeña del mercado)	\$80000000	[130]; Inoxpa. Katerine Díaz, Asesora de ventas. Cel: 3176693958

Nota. La tabla muestra la cotización por unidad de cada uno de los equipos requeridos para el proceso de obtención de suero concentrado líquido, junto con la debida descripción de lo que incluyen. Algunos proveedores ofrecen capacitación para el correcto uso de los equipos.

4.2.1. Depreciación de los equipos

En términos generales, la depreciación se comprende como la disminución periódica del valor de los equipos o maquinaria implementada, debido al desgaste de los bienes por su uso a través del tiempo. En el presente proyecto, se realizó un promedio de vida útil general de 10 años para todos los equipos, de acuerdo a esto, se determinó la depreciación de la maquinaria dividiendo el precio de cada activo en este periodo, para posteriormente calcular la depreciación anual en una proyección evaluada de 8 años.

4.3. Capital de trabajo

La empresa requiere de recursos para poder llevar a cabo las técnicas de aprovechamiento orientadas a la obtención de productos. Estos activos se evalúan de forma anual y se dividen en costos de materias primas, costos de mano de obra y costos indirectos de fabricación. La organización, los valores cotizados y el resumen de todo el capital de trabajo se exponen en el apartado 12 de Anexos.

4.3.1. Materia prima e insumos

Se describe la materia prima que se necesita para la transformación hacia los diferentes productos. En las bebidas a base de lactosuero se consideran el azúcar, los estabilizantes, citratos y pulpas o saborizantes. Por otro lado, el suero concentrado líquido utiliza como materia prima el lactosuero, pero este al ser un residuo de la empresa no tiene costo alguno. Por último, el biogás utiliza estiércol vacuno, a esta materia prima no se le da un valor monetario ya que el proyecto tiene aplicación en una empresa ubicada en una zona ganadera. El valor por kilogramo de cada materia prima mencionada se encuentra en el Anexo 12.

4.3.2. Mano de obra

En general, se le atribuye 2 operarios máximo a los procesos obtención de bebidas a base de lactosuero y suero concentrado líquido, teniendo en cuenta que son procesos de bajo nivel de complejidad y cuenta con algunos equipos semiautomáticos. En el caso del biogás, un operario se encarga de la recolección, transporte del estiércol vacuno y alimentación del biodigestor.

4.3.3. Costos indirectos de fabricación

Corresponden a todos los servicios de gastos por parte de los equipos como el gasto energético y de acueducto. En el proceso de obtención de biogás se considera un costo indirecto adicional del alquiler y combustible de una moto carga con capacidad de carga de 400 kilogramos para el transporte de estiércol vacuno desde la finca hasta la empresa. También, se valora el costo de los envases de plásticos de 400ml, las tapas y las etiquetas para el envasado del producto final en las bebidas a base de lactosuero.

4.4. Inversión diferida

Hace referencia a los permisos, licencias, patentes, entre otros gastos intangibles que son indispensables para el funcionamiento de los proyectos, pero no intervienen de

manera directa sobre la producción. Para la implementación de cualquiera de las alternativas se tendrá en consideración para esta sección los costos de la tarifa del registro INVIMA según el producto, con lo cual, se logre cumplir con los requisitos establecidos por la normatividad nacional sanitaria vigente, para su correcta comercialización.

4.5. Ingresos

Teniendo en cuenta los costos de fabricación en cada caso, los cuales incluyen los materiales e insumos, la mano de obra y los costos indirectos de fabricación, se calculó el costo que genera producir 1 kilogramo de cada producto, dividiendo el costo total de inversión de capital de trabajo sobre el total de unidades (Kg) proyectadas a producir en un año. Se tuvo en cuenta la rentabilidad actual que posee la empresa (24%) con el fin de estimar un valor de venta aproximado para cada producto en función de los costos que representa su elaboración, y determinar factores como la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto (VPN), para establecer la rentabilidad general de los proyectos en términos de porcentaje y utilidad.

Adicionalmente, se indagaron los precios de venta y comercialización en el mercado de los productos evaluados, para comparar la competitividad de estos costos frente al precio de venta establecido según la rentabilidad actual. Se estableció un precio de venta sugerido para las bebidas a base de lactosuero al confrontar los costos de productos similares en almacenes de cadena como Éxito y Jumbo, en el caso del biogás se consideró el precio de venta del servicio en puerto Boyacá y para el suero concentrado líquido se estimó un promedio de precios para sueros tratados, de acuerdo a la recopilación de datos realizada en el libro *Valorización de lactosuero* [86]. La tabla 24 muestra los resultados generales de los costos y precios evaluados para cada producto.

Tabla 24.*Costo de producción y precio de venta.*

Producto	Bebidas a base de lactosuero	Biogás	Suero concentrado líquido
Costo producción de un Kg (COP)	\$ 2.839	\$ 311	\$ 4.822
Precio según rentabilidad empresa (COP)	\$ 3.521	\$ 385	\$ 5.979
Precio sugerido de venta de un Kg (COP)	\$ 4.386	\$ 107	\$ 5.979

Nota. La tabla muestra el costo que representa elaborar 1 Kg de cada producto y el precio para su comercialización en el mercado, en función de la rentabilidad actual de la empresa y del precio promedio en ventas por parte de industrias similares.

4.5.1. Proyección de ventas

Para realizar las proyecciones de costos y ventas de los proyectos analizados, se indagó de forma teórica el impacto nacional de las variaciones en los precios de bienes y servicios, mediante el índice de precios del consumidor (IPC) para los próximos 5 años, obteniendo así, un IPC promedio de 3.02%. Este valor permitió concebir el aumento de la proyección tanto de ventas como de consumo en operación y depreciación de equipos. Por otra parte, en términos de utilidad neta, se consideró el valor del impuesto de renta (32%), estimado anualmente y descontado de las utilidades adquiridas en cada caso.

4.5.2. Rentabilidad actual de la empresa

Con el fin de establecer la tasa mínima para definir el valor neto de los flujos futuros, se determinó el porcentaje de rentabilidad actual de la empresa al evaluar los ingresos y egresos que posee en la comercialización de sus productos, dicho valor se estableció como la tasa interna de oportunidad (TIO) que resultó ser de 24%, y que posteriormente se empleó en la determinación el valor actual para evaluar la rentabilidad de los proyectos mediante los indicadores TIR y VPN.

4.6. Flujo de caja

A continuación, se exponen los flujos de caja obtenidos para cada una de las tres propuestas de proyecto de valorización evaluadas, junto con los valores de los indicadores de rentabilidad financiera.

4.6.1. Bebidas a base de lactosuero

Tabla 25.

Flujo de caja de bebidas a base de lactosuero.

BEBIDAS A BASE DE LACTOSUERO				
Concepto	2021	2024	2026	2029
Utilidad neta (\$)		284536692	378636179	549350749
Depreciación (\$)		6898963	7321478	8004261
Inversión (\$)	1445352322	-	-	-
Flujo de caja neto (\$)	- 1445352322	277637730	371314700	541346487

Nota. En el año 2021 se tiene el costo de inversión donde no hay ingresos por venta de producto, este valor siempre es negativo. El flujo de caja se encuentra resumido, esta fue proyectada por 8 años. La TIO= 24%, Valor actual = \$1041453015.1, VPN= \$-403899306.9 y TIR= 15%.

4.6.2. Biogás

Tabla 26.

Flujo de caja de biogás.

BIOGÁS				
Concepto	2021	2024	2026	2029
Utilidad neta (\$)	-	3501800	-	4659884 - 6760873
Depreciación (\$)		1514076	1606803	1756649
Inversión (\$)	31729598	-	-	-
Flujo de caja neto (\$)	- 31729598	- 1987724	- 3053081	- 5004223

Nota. En el año 2021 se tiene el costo de inversión donde no hay ingresos por venta de producto, este valor siempre es negativo. El flujo de caja se encuentra resumido, esta fue proyectada por 8 años. La TIO= 24%, Valor actual= \$7855665.05, VPN= \$-23873933.4 y la TIR=-5%.

4.6.3. Suero concentrado líquido

Tabla 27.

Flujo de caja de suero concentrado líquido.

SUERO CONCENTRADO LÍQUIDO				
Concepto	2021	2024	2026	2029
Utilidad neta (\$)		-14672667.4	-	19525083.6 -28328300.1
Depreciación (\$)		43642256.26	46315054.7	50634282.6
Inversión (\$)	487628838.3	-	-	-
Flujo de caja neto (\$)	- 487628838.3	-28969588.8	-26789971.1	-22305982.5

Nota. En el año 2021 se tiene el costo de inversión donde no hay ingresos por venta de producto, este valor siempre es negativo. El flujo de caja se encuentra resumido, esta fue proyectada por 8 años. La TIO= 24%, Valor actual= \$-96569373.32, VPN= \$-584198211.7 y la TIR da en un valor muy negativo.

4.7. Ejercicio de diseño

Teniendo en cuenta los valores obtenidos respecto a los flujos de caja para las tres propuestas, se decidió evaluar el diseño básico de ingeniería del equipo que representara mayores costos en cada alternativa, con el fin de comparar la reducción de gastos al considerar la opción de diseño y fabricación de los equipos respecto a la compra de los mismos.

4.7.1. Diseño básico tanque de almacenamiento

En cuanto al dimensionamiento básico de ingeniería para el diseño de un tanque de almacenamiento, se debe tener en cuenta principalmente la geometría del recipiente, el volumen, la altura y el material de construcción del mismo. Los tanques que se utilizan para el almacenamiento de líquidos suelen tener una geometría elipsoidal 2:1 con carcasa cilíndrica. El volumen y la altura de estos equipos se encuentran dada por las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1.

Volumen de tanque para líquidos.

$$V = \pi * R^2 * h_{cilindro} + 2 * \frac{\pi * D^2 * h_{cabeza}}{6}$$

$$V (m^3) = \pi * (0.55m)^2 * 1.25m + 2 * \frac{\pi * (1.1m)^2 * 0.1m}{6}$$

$$V (m^3) = 1.32 m^3$$

Nota. El volumen de tanques para líquidos viene dado por el volumen de un cono más dos veces el volumen de la cabeza, estos pueden ocupar máximo hasta el 80% de su capacidad. Tomado de: Universidad de Granada, "Diseño Tanques De Almacenamiento," 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/Disenio_Tanques_Almacenamiento.pdf.

Ecuación 2.

Altura de tanque para líquidos.

$$H_{Total} = H_{cilindro} + 2h_{cabeza}$$

$$H_{Total} = 1.25m + (2 * 0.1m)$$

$$H_{Total} = 1.45m$$

Nota. La altura comprende las longitudes de las partes que lo conforman, el cilindro y dos cabezas. Tomado de: Universidad de Granada, “Diseño Tanques De Almacenamiento,” 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/Disenio_Tanques_Almacenamiento.pdf.

Por último, de acuerdo a las necesidades de almacenamiento del lactosuero, el material de construcción debe ser acero inoxidable AISI 316 pulido, el metro cuadrado del material posee un costo aproximado de \$800000, la fabricación del equipo reduciría los costos hasta en un 60% al compararlo con su compra en el mercado.

4.7.2. Diseño básico biodigestor

Los biodigestores tipo taiwanés constan de un digestor tubular conformado por un plástico inflable, se diseñan teniendo en cuenta el tiempo en que durara la carga con la que se alimenten en su interior, y la cantidad que se suministre de la misma.

Ecuación 3.

Ecuación teórica para el dimensionamiento del biodigestor.

$$\text{Volúmen Biodigestor (m}^3\text{)} = \frac{\text{Cantidad de carga (m}^3\text{)}}{\text{día (días)}} \times \text{TRH (días)}$$

$$\text{Volúmen Biodigestor (m}^3\text{)} = \frac{1.537 \text{ (m}^3\text{)}}{1 \text{ (días)}} \times 28 \text{ (días)}$$

$$\text{Volúmen Biodigestor (m}^3\text{)} = 43.036\text{m}^3$$

Nota. Para el dimensionamiento se tiene en cuenta la carga diaria de alimentación, la temperatura de trabajo y el tiempo de retención hidráulica. Se resalta que los cálculos se deben realizar en función a la peor temperatura del año y esto ayuda a no subdimensionar el tamaño. Tomado de: G. G. Serrano, “Diseño de una planta piloto para la separación de distintos componentes de la leche de vaca,” 2016.

Este equipo no requiere de materiales muy especializados, suele realizarse de forma muy rustica en zonas rurales, por lo que su fabricación podría estar reduciendo hasta en un 50% los gastos que representa su compra e instalación.

4.7.3. Diseño básico ultrafiltrador

El equipo de ultrafiltración consta principalmente de un módulo tubular que contiene una membrana de filtración, la cual cumple la función de separar el fluido de componentes concentrados, del permeado. Los costos del equipo pueden variar en función del área y material de dicha membrana, las membranas orgánicas son las que proporcionan los precios más bajos en el mercado, respecto a su dimensionamiento básico, el área de las membranas se encuentra según el diámetro y longitud del cilindro que las contiene.

Ecuación 4.

Área de la membrana.

$$\text{Area membrana} = \pi \times \text{Diametro interior} \times \text{Longitud membrana}$$

$$\text{Area membrana} = \pi \times 2.7 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$$

$$\text{Area membrana} = 424.115 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area membrana} = 0.0424115 \text{ m}^2$$

Nota. El diámetro interno y la longitud de la membrana fue tomada de una membrana PLISADA POLIPROPILENO de 20 pulgadas SLIM. Tomado de: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/87868/29208773_TFG_14994113213733945125533405269768.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Las condiciones de operación que se emplearan en el equipo se relacionan principalmente con la capacidad que se ingrese al módulo y la presión de trabajo que se requiera. La tabla 28 muestra algunas especificaciones del funcionamiento del ultrafiltrador al considerar una recepción de volumen de lactosuero de 1000 litros al día.

Tabla 28.

Especificaciones del ultrafiltrador.

Presión (bar)	4
Volumen (Litros)	500
Tiempo (horas)	1
Caudal (L/h)	500

Nota. La presión fue tomada teóricamente como se nombra en el documento. El volumen y el tiempo se toman de las características de la membrana filtro, las capacidades que se pueden llevar en dicha membrana. El caudal se calcula teniendo en cuenta el volumen y el tiempo, dando como resultado un tiempo de 2 horas para ultra filtrar el lactosuero del día.

Para la determinación del flujo permeado a través de la membrana (J_w) es necesario implementar la ecuación 5, que depende del caudal y el área de la membrana.

Ecuación 5.

Flujo permeado a través de la membrana.

$$J_w \left(\frac{L}{m^2 \times h} \right) = \frac{Q \left(\frac{L}{h} \right)}{\text{Área membrana } (m^2)}$$

$$J_w \left(\frac{L}{m^2 \times h} \right) = \frac{500 \left(\frac{L}{h} \right)}{0.0424115 (m^2)}$$

$$J_w \left(\frac{L}{m^2 \times h} \right) = 1178.92$$

Nota. La ecuación muestra como determinar el flujo que permea la membrana, la cual requiere el caudal Q y el área de membrana en metro cuadrado Tomado de: A. M. S. RAMIREZ, “propuesta de dimensionamiento de un sistema de ultrafiltración, para tratar agua permeada almacenada,” Fundación Universidad de América, 2016.

Finalmente se evaluaron los parámetros y especificaciones más importantes de la membrana de ultrafiltración, los cuales se exponen en la tabla 29. Al consultar con algunos proveedores nacionales como Filternox y Pure Aqua, la construcción de este equipo estaría rondando los 30 millones de pesos, a pesar de considerarse aún una alta inversión, si se reduce significativamente los costos que representa la compra e importación del mismo ya fabricado.

Tabla 29.

Características de la membrana de ultrafiltración.

Medio filtrante	Poliéster PLISADO
Material	100% fibras de poliéster de la resistencia
Estructura	Pliegues de celulosa, núcleo de polipropileno
Tapas	Acero inoxidable
Núcleo	Polipropileno reforzado
Densidad	Gradual del exterior a interior
Retención nominal	20 micras
Temperatura máxima	35°C
Presión máxima	72.5 psi, 5 bar
Máximo caudal	2 a 12 GPM, 0.45 a 2.72 m ³ /h
Longitud o altura	50 cm
Diámetro exterior	6.3 cm
Diámetro interior	2.7
Peso aprox.	110 gramos
Montaje	Carcasa de 20" Slim
Tiempo de servicio	6 meses, lavable, reutilizable

Nota. En la tabla se muestra las especificaciones técnicas de la membrana filtro. Tomado de: "Membrana Polipropileno Plisada 20 Micras Filtro Agua 20 Slim," 2021. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-511459659-membrana-polipropileno-plisada-20-micras-filtro-agua-20-slim-_JM.

4.8. Selección final

Para la selección final se tuvieron en cuenta aspectos de evaluación tanto técnicos como financieros para cada alternativa, se llevó a cabo la misma metodología (método AHP) empleada en la preselección. En esta ocasión los criterios se seleccionaron y calificaron teniendo en cuenta la evaluación técnica y financiera realizada para cada propuesta de

proyecto. La tabla 30 muestra la priorización de los criterios de selección evaluados, en donde de acuerdo a las intenciones de la empresa se le dio mayor relevancia al criterio que busca evaluar la viabilidad y retribución económica de los productos analizados.

Tabla 30.

Matriz de comparación de criterios de selección final.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS				
CRITERIOS	Facilidad de diseño y ejecución	Alta rentabilidad proyectada	Aprovechamiento del residuo	PONDERACIÓN
Facilidad de diseño y ejecución	1	1/3	3	0.26
Alta rentabilidad proyectada	3	1	5	0.63
Aprovechamiento del residuo	1/3	1/5	1	0.11
TOTAL	4.33	1.53	9.00	

Nota. La tabla muestra la calificación sobre la importancia de los criterios técnicos y financieros de evaluación para la selección final.

Los resultados de la selección final pueden apreciarse en la tabla 31, que expone la priorización de la evaluación de los criterios en contraste con las alternativas, dando como mejor opción el desarrollo de bebidas a base de lactosuero, ya que representa la alternativa más favorable y factible financieramente, con un alto aprovechamiento y rendimiento del lactosuero industrial que se genera como residuo.

Tabla 31.

Resultado matriz de selección final de alternativa de aprovechamiento.

CRITERIO / ALTERNATIVA	Facilidad de diseño y ejecución	Alta rentabilidad proyectada	Aprovechamiento del residuo	PRIORIZACIÓN
Bebidas a base de suero	0.137	0.772	0.632	0.592
Biogás	0.780	0.165	0.298	0.339
Suero concentrado líquido	0.083	0.063	0.069	0.069
PONDERACIÓN	0.26	0.63	0.11	

Nota. La tabla presenta los resultados de la priorización de las alternativas de aprovechamiento previamente preseleccionadas al aplicar el método AHP en una selección final.

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el panorama actual del mercado nacional en la importación y exportación de productos lácteos, se encontró una demanda importante en relación al consumo de lactosuero importado, siendo este el tercer producto que más participación genera en la inversión de mercados extranjeros, lo que indica el poco aprovechamiento de las técnicas de procesamiento a nivel nacional para su comercialización. La problemática ambiental que conlleva la disposición de lactosuero como residuo, y la cantidad de compuestos aprovechables que contiene, orientan el estado actual de este efluente a los tratamientos que permitan su uso en la industria para la obtención de productos de valor agregado que representen una oportunidad de expansión en el mercado.

Se realizó una caracterización general y global del lactosuero mediante la estandarización de datos, según las 22 fuentes consultadas y los parámetros recopilados de estas, definiendo una composición de 46g de lactosa, 7.1g de proteínas, 0.99 g de grasas y 0.1 g de sales minerales en 1 kg de lactosuero. Su uso industrial se enfoca en recuperar y aprovechar los componentes considerados de valor para la industria, como la lactosa y las proteínas.

Las condiciones y capacidades de producción se dimensionaron mediante un escalamiento y adaptación de datos y valores de operación conceptuales, de los cuales, fue posible plantear las especificaciones técnicas de los equipos en cada caso. La producción de biogás es la alternativa con mayores facilidades técnicas de implementación, debido al fácil acceso y disponibilidad de los equipos, a la sencillez de los materiales de construcción y a que no se requiere mantener el producto final en condiciones estrictas de inocuidad, lo cual facilita su almacenamiento y disposición final.

La obtención de bebidas a base de lactosuero resultó ser la única alternativa económicamente viable según la evaluación financiera realizada para el análisis de rentabilidad, obteniendo un retorno de ganancias del 15% que está relacionado con la

aceptación y la competitividad de precios que genera este producto en el mercado, en comparación a las otras dos opciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Contexto ganadero, “*Puerto Boyacá se perfila como una provincia lechera,*” 2016. <https://www.contextoganadero.com/regiones/puerto-boyaca-se-perfila-como-una-provincia-lechera>.
- [2] A. Castro, “*Entrevista. Comunicación Telefónica.*”
- [3] M. F. Silva *et al.*, “*Production and characterization of xanthan gum by Xanthomonas campestris using cheese whey as sole carbon source,*” *J. Food Eng.*, vol. 90, no. 1, pp. 119–123, 2009, disponible en: 10.1016/j.jfoodeng.2008.06.010.
- [4] Á. V. A. G. L. M. M. C. A. L. Q. Tovar, “*Aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía nutricional para minimizar el problema de contaminación ambiental Utilization of whey as a source of nutritional energy,*” pp. 55–66.
- [5] J. Ramírez, “*Quesillos Armero Guayabal,*” 2014. <http://quesillosarmeroguayabal.blogspot.com/>.
- [6] CONtexto ganadero, “*Elaboración del queso industrial,*” 2017. <https://www.contextoganadero.com/blog/elaboracion-del-queso-industrial>.
- [7] M. Villén, “*Homogeneización y pasteurización de la leche,*” 2013. <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/homogeneizacion-y-pasteurizacion-de-la-leche/>.
- [8] F. La granja, “*¿Qué es el cuajo del queso y para qué sirve?,*” 2020. <https://fincalagranja.es/que-es-el-cuajo/>.
- [9] F. Hernández, “*Coagulación, corte de la cuajada y desuerado,*” 2016. <https://www.quesosdehinojosa.com/noticias/coagulacion-corte-de-la-cuajada-y-desuerado/>.
- [10] F. Hernández, “*Moldeado y prensado del queso,*” 2016. <https://www.quesosdehinojosa.com/noticias/moldeado-y-prensado-del-queso/>.
- [11] Quesos Don Atilio SA, “*Quesos Don Atilio de Tandil,*” 2019. <https://www.donatilio.com/nuestra-industria>.
- [12] Codex Alimentarius FAO, “*Portal lácteo,*” 2019. <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/codex-alimentarius/es/>.
- [13] H. . Molder, “*The use of whey as animal feed and fertilizer,*” *Int. Dairy Fed.*, 1987.
- [14] R. A. Parra Huertas, “*Lactosuero: importancia en la industria de alimentos.*” *Rev.*

- Fac. Nac. Agron. Medellín*, vol. 62, no. 1, pp. 4967–4982, 2009, disponible en: [10.1016/j.ijfoodmicro.2010.04.011](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.04.011).
- [15] E. Poveda, L. Dirigir, and D. Elpidia Poveda, “*Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad Whey, generalities and potential use as source of calcium from high bioavailability*,” *Rev. Chil. Nutr.*, vol. 40, no. 4, pp. 397–403, 2013, [En línea]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v40n4/art11.pdf>.
- [16] S. Tuset, “*Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea*,” 2016. <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>.
- [17] W. Guerrero, C. Gómez, C. González, and J. Castro, “*Lactosuero y su problemática en el medio ambiente*,” *XI Congr. Nac. Cienc. y Tecnol. Aliment.*, pp. 1–6, 2003, [En línea]. Disponible en: https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/3671/%0Ahttp://uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_MicroAlim/Javier_Castro/10.pdf.
- [18] Ministerio de agricultura y desarrollo sostenible, “*Resolución 631*,” 2015. https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf.
- [19] Ministerio de agricultura y desarrollo rural, “*Productividad del sector lácteo*,” 2018. http://www.andi.com.co/Uploads/20200430_DT_AnalSitLecheLarga_AndreaGonzalez.pdf.
- [20] Cámara de comercio de Bogotá, “*¿Cómo va el sector Lácteo?*,” 2018. <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-Lacteo-de-Bogota-Region/Noticias/2018/Julio-2018/Como-va-el-sector-Lacteo>.
- [21] Minagricultura, “*Cadena Láctea*,” 2019. http://sioc.minagricultura.gov.co/SICLA/Documentos/2019-03-30_Cifras_Sectoriales.pdf.
- [22] P. Y. C. D. E. Café, U. Iván, L. Reyes, M. C. Laura, and G. Tovar, “*Universidad autónoma chapingo*,” 2009.
- [23] X. Cadena, M. Reina, and A. Rivera, “*Precio regulado de la leche: ineficiencias, costos y alternativas Fedesarrollo*,” pp. 1–91, 2019.

- [24] Scimago Lab, “Scimago Journal & Country Rank,” 2020. <https://www.scimagojr.com/>.
- [25] Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, “Publindex,” 2020. <https://scienti.minciencias.gov.co/publindex/#/noticias/lista>.
- [26] P. A. Motta-Delgado, M. S. Rivera-Morales, J. A. Duque, and F. A. Guevara, “*Inherent Factors To the Quality of the Milk in the Agro-Food Industry*,” *Rev. Colomb. cienc. Anim*, vol. 6, no. 1, pp. 223–242, 2014.
- [27] F. Carvalho, A. R. Prazeres, and J. Rivas, “*Cheese whey wastewater: Characterization and treatment*,” *Sci. Total Environ.*, vol. 445–446, pp. 385–396, 2013, disponible en: 10.1016/j.scitotenv.2012.12.038.
- [28] R. K. Ghaly, A.E., Singh, “*Pollution potential reduction of cheese whey through yeast fermentation*,” *Appl Biochem Biotechnol*, vol. 22, pp. 181–203, 1989, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF02921744>.
- [29] L. S. T. F. Malaspina, C.M. Cellamare, “*Anaerobic treatment of cheese whey with a downflow-upflow hybrid reactor*,” *Bioresour. Technol.*, vol. 55, no. 2, pp. 131–139, 1996, [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00187-5](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00187-5).
- [30] M.I. González Siso, “*The biotechnological utilization of cheese whey: A review*,” *Bioresour. Technol.*, vol. 57, no. 1, pp. 1–11, 1996, [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(96\)00036-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(96)00036-3).
- [31] E. G. . D. T.H Ergüder, U Tezel, “*Anaerobic biotransformation and methane generation potential of cheese whey in batch and UASB reactors*,” *Waste Manag.*, vol. 21, no. 7, pp. 643–650, 2001, [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00114-8](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00114-8).
- [32] M. A. K. A.E. Ghaly, “*Submerged yeast fermentation of acid cheese whey for protein production and pollution potential reduction*,” *Water Res.*, vol. 38, no. 3, pp. 631–644, 2004, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.019>.
- [33] A. Nuhoglua, Burhanettin Farizoglua, Bulent Keskinlerb, Ergun Yildiza, “*Cheese whey treatment performance of an aerobic jet loop membrane bioreactor*,” *Process Biochem.*, vol. 39, no. 12, pp. 2283–2291, 2004, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2003.11.028>.

- [34] G. Vatai, Attila Rektor, “*Membrane filtration of Mozzarella whey*,” *Desalination*, vol. 162, pp. 279–286, 2004, [En linea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(04\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(04)00052-9).
- [35] A. A. Mongi Ferchichia, Edward Crabbea, Gwang-HoonGil, William Hintzb, “*Influence of initial pH on hydrogen production from cheese whey*,” *J. Biotechnol.*, vol. 120, no. 4, pp. 402–409, 2005, [En linea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2005.05.017>.
- [36] V. Blonskaja and T. Vaalu, “*Investigation of different schemes for anaerobic treatment of food industry wastes in Estonia*,” *Proc. Est. Acad. Sci. Chem*, vol. 55, no. January 2006, pp. 14–28, 2006.
- [37] S. S. Ahlem Saddoud, Ilem Hassaïri, “*Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey*,” *Bioresour. Technol.*, vol. 98, no. 11, pp. 2102–2108, 2007, [En linea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.08.013>.
- [38] O. S. M.S. Yorguna, I. Akmehmet Balcioglub, “*Performance comparison of ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis on whey treatment*,” *Desalination*, vol. 229, no. 1–3, pp. 204–216, 2008, [En linea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.09.008>.
- [39] M. D. W. Janczukowicz, M. Zieliński, “*Biodegradability evaluation of dairy effluents originated in selected sections of dairy production*,” *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 10, pp. 4199–4205, 2008, [En linea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.077>.
- [40] M. H. H. Gannoun, E. Khelifi, H. Bouallagui, Y. Touhami, “*Ecological clarification of cheese whey prior to anaerobic digestion in upflow anaerobic filter*,” *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 14, pp. 6105–6111, 2008, [En linea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.037>.
- [41] H. M. S. Nuri Azbar, F. Tuba Çetinkaya Dokgöz, Tugba Keskin, Kemal S. Korkmaz, “*Continuous fermentative hydrogen production from cheese whey wastewater under thermophilic anaerobic conditions*,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 34, no. 17, pp. 7441–7447, 2009, [En linea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.04.032>.

- [42] A. Ebrahimi, G. D. Najafpour, M. Mohammadi, and B. Hashemiyeh, “*Biological treatment of whey in an UASFF bioreactor followed a three-stage RBC,*” *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.*, vol. 16, no. 2, pp. 175–182, 2010, disponible en: 10.2298/CICEQ100315025E.
- [43] Y. Motta-correa and M. Mosquera, “*Aprovechamiento del lactosuero y sus componentes como materia prima en la industria de alimentos,*” *Cienc. y Tecnol. Aliment.*, vol. 13, no. 1, pp. 81–91, 2015.
- [44] R. Quevedo-Blasco and W. López-López, “*Análisis Bibliométrico de las revistas multidisciplinares de psicología recientemente incorporadas en la Web of Science (2008-2009),*” *Psicol. Reflex. e Crit.*, vol. 23, no. 2, pp. 384–408, 2010, disponible en: 10.1590/S0102-79722010000200021.
- [45] S. Secinaro, V. Brescia, D. Calandra, and P. Biancone, “*Employing bibliometric analysis to identify suitable business models for electric cars,*” *J. Clean. Prod.*, vol. 264, p. 121503, 2020, disponible en: 10.1016/j.jclepro.2020.121503.
- [46] C. S. Jose and E. Casado, “*Bibliometric Analysis of Cheese Literature Covered by the Food Science and Technology Abstracts in 1970 and 1980,*” *J. Dairy Sci.*, vol. 66, no. 7, pp. 1528–1535, 1983, disponible en: 10.3168/jds.S0022-0302(83)81969-9.
- [47] N. Panghal, A., Patidar, R., Jaglan, S., Chhikara, N., Khatkar, S.K., Gat, Y. and Sindhu, “*Whey valorization: current options and future scenario – a critical review,*” *Nutr. Food Sci.*, vol. 48, pp. 520–535, 2018.
- [48] P. Oibileke, K., Onyeaka, H., Omoregbe, O., Makaka, G., Nwokolo, N., & Mukumba, “*Bioenergy from bio-waste: a bibliometric analysis of the trend in scientific research from 1998–2018,*” *Biomass Convers. Biorefinery*, pp. 1–16, 2020.
- [49] H. Z. Fu and Y. S. Ho, “*State of the art on food waste research: A bibliometrics study from 1997 to 2014,*” *J. Clean. Prod.*, vol. 157, p. 167, 2017, disponible en: 10.1016/j.jclepro.2017.04.120.
- [50] S. S. Llurba, “*¿Qué es Scopus? ¿Y para qué sirve?,*” 2018. <https://bibliosjd.org/2018/01/24/scopus-que-es-para-que-sirve/#.X49gdtAzbcc>.
- [51] A. Templeton, “*A bibliometric analysis of Atangana-Baleanu operators in fractional calculus,*” *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, no. 4, pp. 2733–2738, 2020, disponible en:

- 10.1016/j.aej.2020.05.016.
- [52] M. Aria, "Bibliometrix," 2016. <https://www.bibliometrix.org/>.
- [53] D. M. C. Vásquez, "Análisis bibliométrico retrospectivo del neuromarketing de consumo en los últimos años (2004-2016)," 2017.
- [54] K. Saikia, M. Vallès, A. Fabregat, R. Saez, and D. Boer, "A bibliometric analysis of trends in solar cooling technology," *Sol. Energy*, vol. 199, no. February, pp. 100–114, 2020, disponible en: 10.1016/j.solener.2020.02.013.
- [55] G. A. & L. A. B. Eduardo Gómez, Diego Navas, "Literature review methodology for scientific and information management, through its structuring and systematization Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización," *Spine J.*, vol. 17, no. 8, p. 1200, 2017, disponible en: 10.1016/j.spinee.2017.04.017.
- [56] H. A. Nadernia and A. A. Babaluo, "Separation and purification of lactose from dairy wastewater by nanofiltration," no. October 2016, pp. 6–8, 2019.
- [57] C. Fernández Rodríguez, E. J. Martínez Torres, A. Morán Palao, and X. Gómez Barrios, "Procesos biológicos para el tratamiento de lactosuero con producción de biogás e hidrógeno. Revisión bibliográfica," *Rev. ION*, vol. 29, no. 1, pp. 47–62, 2016, disponible en: 10.18273/revion.v29n1-2016004.
- [58] J. Revelo, D., Hurtado, N., & Ruiz, *Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica*. Información Tecnológica, 2013.
- [59] C. L. P. Mireles, "Efecto de la composición de mezclas de metabolitos procedentes de la fermentación oscura para su uso en la producción de Biohidrógeno," Instituto Potosino De Investigación Científica Y Tecnológica, A.C, 2016.
- [60] N. Urtasun, D. B. Hirsch, M. F. Baieli, M. V Miranda, and O. Cascone, "Valorización del suero de queso: un desafío para la cromatografía a escala industrial.," *Rev. Farm.*, vol. 160, no. 1, pp. 47–61, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2SKNCnu>.
- [61] Arcat.net, "Digestión Aerobia," 2013. <http://www.arcat.net/es/altres/purins/guia/pdf/ficha7.pdf>.
- [62] I. Ambiental, "Digestión aerobia."

- [63] Y. L. A. y M. C. O. Abreu, “*La Digestión Anaerobia: Aspectos teóricos,*” *Icidca*, vol. XXXIX, pp. 35–48, 2005, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>.
- [64] E. Comino, V. A. Riggio, and M. Rosso, “*Biogas production by anaerobic co-digestion of cattle slurry and cheese whey,*” *Bioresour. Technol.*, vol. 114, pp. 46–53, 2012, disponible en: 10.1016/j.biortech.2012.02.090.
- [65] Inoxpa, “Fermentador,” 2016. <https://www.inoxpa.es/productos/equipos/mas-equipos/fermentador-industrial>.
- [66] Mexpolímeros, “*Polimerización,*” 2018. <https://www.mexpolimeros.com/polimerización.html>.
- [67] K. M. Yaminaqué Chero, “*Estudio de factibilidad técnico-económico en la instalación de una planta química para la producción del biopolímero ácido poliláctico (pla) a partir del lactosuero,*” Universidad Nacional De Piura, 2015.
- [68] S. H. Ochoa, “*Planta piloto de fermentaciones departamento de biotecnología,*” 2008. <http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/sho/Precipitacion.pdf>.
- [69] G. G. Benitez, “*Precipitación,*” 2014. <https://es.slideshare.net/guillermogaribay1447/precipitacion-37561348#:~:text=Generalidades La precipitación es,métodos físicos o físico-químicos>.
- [70] M. Fabiola, F. Mor, and M. Lerma, “*Secado por aspersión,*” no. October, 2019, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/336748770_SECADO_POR ASPERSION#:~:text=El secado por aspersión es,o pequeñas esferas %5B1%5D.
- [71] GEA Group Aktiengesellschaft, “*Productos alimentarios y lácteos,*” 2020. <https://www.gea.com/es/products/dryers-particle-processing/spray-dryers/food-dairy-products/index.jsp?i=dairy-processing&m=dairy-processing-dairy-ingredients>.
- [72] M. Vidal Brotons,daniel; Gras Romero, “*Separación por membranas,*” *Rev. Científica Univ. Val.*, 2011.
- [73] L. C. Irezabal, “*Filtración por membrana,*” 2014. http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/filtracion_por_membrana.pdf.

- [74] T. E. I. Departamento Administrativo De Ciencia And - Colciencias, “Niveles de madurez de la tecnología *technology readiness levels.TRLS.*,” Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), 2016. <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo-13-niveles-madurez-tecnologica-conv.pdf>.
- [75] V. Ibáñez-Forés, M. D. Bovea, and V. Pérez-Belis, “A holistic review of applied methodologies for assessing and selecting the optimal technological alternative from a sustainability perspective,” *J. Clean. Prod.*, vol. 70, pp. 259–281, 2014, disponible en: 10.1016/j.jclepro.2014.01.082.
- [76] M. A. Ilgin, S. M. Gupta, and O. Battaïa, “Use of MCDM techniques in environmentally conscious manufacturing and product recovery: State of the art,” *J. Manuf. Syst.*, vol. 37, pp. 746–758, 2015, disponible en: 10.1016/j.jmsy.2015.04.010.
- [77] A. Shahnazari, M. Rafiee, A. Rohani, B. Bhushan Nagar, M. A. Ebrahiminik, and M. H. Aghkhani, “Identification of effective factors to select energy recovery technologies from municipal solid waste using multi-criteria decision making (MCDM): A review of thermochemical technologies,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 40, no. May, 2020, disponible en: 10.1016/j.seta.2020.100737.
- [78] J. Osorio and J. Orejuela, “El proceso de análisis jerárquico (*ahp*) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación,” *Sci. Tech.*, vol. XIV, no. 39, pp. 247–252, 2008, [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=84920503044>.
- [79] A. L. B. Garces, “Obtención de ácido cítrico a partir de suero de leche por fermentación en cultivo líquido,” Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [80] Ó. J. SánchezToro, M. C. O. Buriticá, and A. L. B. Garcés, “Obtención de ácido cítrico a partir de suero de leche por fermentación con *Aspergillus spp.*,” *Rev. Colomb. Biotecnol.*, vol. 6, no. 26, p. 4, 2012, [En línea]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/13177/2/542-3862-1-PB.pdf?%0Ahttp://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2351941.pdf>.
- [81] J. A. P. Santiago Cordon, “Ajuste de un modelo matemático para el crecimiento de *streptococcus pyogenes* en 2 sustratos para la producción de ácido hialurónico a

- escala de laboratorio*,” Fundación Universidad De América, 2016.
- [82] “Evaluación de la fermentación láctica de leche con adición de quinua (*chenopodium quinoa*),” *Vitae*, vol. 19, no. 1, pp. S276–S278, 2012.
- [83] G. Sola V., “Estudio de factibilidad para la producción de ácido láctico comercial, a nivel industrial en Guatemala.,” Universidad De San Carlos De Guatemala, 2006.
- [84] J. S. Ramírez Navas, “Aprovechamiento industrial de lactosuero mediante procesos fermentativos,” *Publicaciones e Investig.*, vol. 6, p. 69, 2012, disponible en: 10.22490/25394088.1100.
- [85] M. Parzenese, “Tecnologías para la industria alimentaria - procesamiento de lactosuero,” *Aliment. Argentinos*, vol. 13, pp. 1–9, 2008.
- [86] M. L. Castells et al., *Valorización del lactosuero*. 2017.
- [87] F. A. Endara Figueroa, “Elaboración de una bebida a partir del suero de queso y leche descremada con sabor a mango,” ZAMORANO, 2002.
- [88] H. Brito, “Aprovechamiento del suero de leche como bebida energizante para minimizar el impacto ambiental,” no. March, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/315455479>.
- [89] D. Jesús-andrade, F. LA Ávalos-de Cruz, and C. al Autor, “Producción de bioetanol a partir de suero de queso proveniente de la región central del estado de Veracruz,” *Artículo Rev. Sist. Exp. Diciembre*, vol. 3, no. 9, pp. 42–50, 2016, [En línea]. Disponible en: www.ecorfan.org/bolivia.
- [90] H. Brito and P. Palmay, “Diseño de un proceso industrial para la obtención de bioetanol a partir de lactosuero,” *Congr. Int. Ing. Química*, no. October, p. 4, 2017, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/320442565_DISENO_DE_UN_PROCESO_INDUSTRIAL_PARA_LA_OBTENCION_DE_BIOETANOL_A_PARTIR_DE_LACTOSUERO.
- [91] F. Asunis et al., “The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorisation,” *J. Environ. Manage.*, vol. 276, no. August, p. 111240, 2020, disponible en: 10.1016/j.jenvman.2020.111240.
- [92] G. B. Isaac Rivera, Péter Bakonyi, Manuel Alejandro Cuautle-Marína, “Evaluation of various cheese whey treatment scenarios in single-chamber microbial

- electrolysis cells for improved biohydrogen production,* *Chemosphere*, vol. 174, pp. 253–259, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.128>.
- [93] L. F. Riquelme Gyimesy, “*Desarrollo por ultrafiltración de un concentrado proteico a partir de lactosuero,*” Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [94] J. S. Ramírez-Navas, C. A. Solís-Carvajal, and C. A. Vélez, “*Tecnología de membranas: Obtención de proteínas de lactosuero,*” *Entre Cienc. e Ing.*, vol. 12, no. 24, p. 52, 2018, disponible en: 10.31908/19098367.3815.
- [95] V. Evelin Rojas, C. Emiro Valbuena, F. Gabriel Torres, H. Aiza García de, G. María Piñero, and A. Luz Mila Galindo, “*Aislamiento y rendimiento del GMP mediante precipitación de lactosuero con ácido tricloroacético,*” *Rev. Cient. la Fac. Ciencias Vet. la Univ. del Zulia*, vol. 19, no. 3, pp. 295–302, 2009.
- [96] P. Dianela, “*Procesamiento del lactosuero: elaboración de lactosa y aprovechamiento de proteínas,*” *Tecnol. Láctea Latinoam. N°*, vol. 87, p. 44, 2015.
- [97] Centro de Desarrollo Tecnológico, “*Bioplásticos,*” Madrid, 2007.
- [98] Laura Cuervo; Julio Cesar Echverry, “*Evaluación de la síntesis de ácido poliláctico proveniente del suero de quesería a nivel laboratorio,*” Fundación Universidad de América, 2016.
- [99] A. Giraldo, E. Rojas, J. Coimbra, and W. Luera, “*Separación de proteínas de suero de leche líquida por cromatografía,*” *Sci. Agropecu.*, vol. 1, pp. 21–26, 2010, disponible en: 10.17268/sci.agropecu.2010.01.02.
- [100] Tetra Pak®, “*Suero en polvo desmineralizado,*” 2018. <https://www.tetrapak.com/co/findbyfood/whey-powder/de-mineralized-whey-powder>.
- [101] R. Mondragón, J. E. Julia, A. Barba, and J. C. Jarque, “*El proceso de secado por atomización: Formación de gránulos y cinética de secado de gotas,*” *Bol. la Soc. Esp. Ceram. y Vidr.*, vol. 52, no. 4, pp. 159–168, 2013, disponible en: 10.3989/cyv.212013.
- [102] Y. A. Vivas, A. J. Morales, and Á. M. Otálvaro, “*Utilization of whey in the development of a refreshing beverage with natural antioxidants,*” *Rev. Aliment. Hoy*, vol. 24, no. 39, pp. 185–199, 2016, [En línea]. Disponible en:

<http://www.alimentoshoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/viewFile/415/344.%0A%0A>.

- [103] C. P. Támara Castro, “*Aprovechamiento industrial del lactosuero*,” pp. 1–83, 2015.
- [104] F. Hernández, “*Producción de biogás con suero de quesería. Tratamiento y generación de energía renovable a partir de lactosuero.*,” p. 43, 2015, [En línea]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2W2gBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=suero+de+queseria+biogas&ots=48_04p-d0Z&sig=KEUaMWkzI0TBOXt-GcsO7APEfds&redir_esc=y#v=onepage&q=suero de queseria biogas&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2W2gBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=suero+de+queseria+biogas&ots=48_04p-d0Z&sig=KEUaMWkzI0TBOXt-GcsO7APEfds&redir_esc=y#v=onepage&q=suero+de+queseria+biogas&f=false).
- [105] K. AGUILAR, P. y CAMPOS *et al.*, “*Rendimiento de biogás a partir de mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería mediante digestión anaeróbica*,” Universidad de Piura, 2016.
- [106] E. Cantón Albarral, “*Estudio del diseño de una planta de procesado para el aprovechamiento de lactosuero de quesería*,” Universidad Politécnica de Catalunya, 2016.
- [107] J. Callejas Hernández, F. Prieto García, V. E. Reyes Cruz, Y. Marmolejo Santillán, and M. A. Méndez Marzo, “*Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo*,” *Acta Univ.*, vol. 22, no. 1, pp. 11–18, 2012, disponible en: 10.15174/au.2012.304.
- [108] M. Álvarez, “*Caracterización fisicoquímica de los diferentes tipos lactosueros producidos en la Cooperativa Colante LTDA*,” pp. 1–42, 2013.
- [109] D. E. L. Combinado and L. Santiago, “*Caracterización del suero de queso blanco del combinado lácteo santiago*,” *Tecnol. Química*, vol. 31, no. 3, pp. 93–100, 2016, disponible en: 10.1590/2224-6185.2011.3.
- [110] P. Paredes, A. Chávez, J. Rodríguez, N. Aguilar, A. Rentería, and G. Rodríguez, “*Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de suero de leche de queso Chihuahua*,” *Investig. Cienc.*, vol. 22, no. 62, pp. 11–16, 2014, [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2QuGsXQ>.
- [111] K. Yang, Y. Yu, and S. Hwang, “*Selective optimization in thermophilic acidogenesis of cheese-whey wastewater to acetic and butyric acids: Partial acidification and*

- methanation*,” *Water Res.*, vol. 37, no. 10, pp. 2467–2477, 2003, disponible en: 10.1016/S0043-1354(03)00006-X.
- [112] D. D. E. Agronomia *et al.*, “Evaluación de la capacidad del suero lácteo para la producción de biogás,” 2019.
- [113] Emison, “Producciones tipo de biogás,” 2017. <https://www.emison.com/produccion-biogas.htm>.
- [114] M. Gabriel, “Estudio del biogas en biodigestores,” p. 11, 2017.
- [115] FAO, Minenergía, pnud, and GEF, “Manual del Biogás,” *Proy. CHI/00/G32*, p. 120, 2011, [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>.
- [116] C. A. Solís Carvajal, C. A. Vélez Pasos, and J. S. Ramírez-Navas, “Tecnología de membranas: Ultrafiltración,” *Entre Cienc. e Ing.*, vol. 11, no. 22, p. 26, 2017, disponible en: 10.31908/19098367.3546.
- [117] M. A. F. Figueredo and L. C. O. Gómez, “Propuesta para la elaboración de una bebida láctea energizante a partir del lactosuero en la empresa casalac,” Fundación Universidad de América, 2017.
- [118] Industria de lácteos, “Tanques de almacenamiento | Maquinaria Utilizada en industria Láctea,” 2018. <https://industriadelacteosblog.wordpress.com/maquinas/tanques-de-almacenamiento/>.
- [119] S. L. Teixits Torné, “Paños para la elaboración de quesos de un solo uso – gasa 28 hilos,” 2015. <http://textiltorne.es/productos/panos-y-telas-para-la-elaboracion-de-quesos-escurrir-quesos/gasa-de-un-solo-uso/panos-para-la-elaboracion-de-quesos-de-un-solo-uso-gasa-28-hilos/>.
- [120] A. C.a., “Agritech,” 2018. <https://agritech.com.ve/productos/pasteurizador-batch/>.
- [121] Sunji Machinery Co, “Tanque de mezcla,” 2015. <http://www.sunji.co/project/tanque-de-mezcla-para-productos-viscosos/>.
- [122] S. E. L. Biogás, *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. .
- [123] M. Daniel and M. Aldana, “Diseño de un biodigestor tubular para zonas rurales de la región piura,” pp. 13–17, 2017.
- [124] D. Zambrano, J. Isaza, N. Rodríguez, and U. López, “Tratamiento de aguas residuales del lavado del café,” *Cenicafe*, p. 30, 1999.

- [125] Alibaba, “*Flow ethanol separator machine continuous centrifuge industrial price,*” 2020. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/flow-ethanol-separator-machine-continuous-centrifuge-industrial-price-62423758147.html?spm=a2700.8699010.normalList.1.5a11587dM0sg4U>.
- [126] Perinox S.A., “*Sistemas de filtración y ultrafiltración,*” 2019. <http://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Sistemas-de-filtracion-y-ultrafiltracion-23607.html>.
- [127] M. Andinox, “*Bomba centrífuga alimentaria/sanitaria,*” 2020. <https://www.mcandinox.com/es/productos/bombas/fl50ci/>.
- [128] AGRILAC COLOMBIA, “*Tanques tipo abierto,*” 2020. <http://www.agrilac.co/tanques-tipo-abierto/>.
- [129] Mercado Libre, “*Tanque homogenizador y mezclador en acero inoxidable digital,*” 2020. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-597597116-tanque-homogenizador-y-mezclador-en-acero-inoxidable-digital-_JM#redirectedFromParent.
- [130] Inoxpa, “*Equipos,*” 2020. <https://www.inoxpa.co/productos/equipos>.
- [131] Inoxpa, “*HTST Pasteurizador,*” 2020. <https://www.inoxpa.co/productos/equipos/tratamiento-termico/pasteurizador-htst>.
- [132] Liquidfactory, “*Llenadoras lineales - botellas,*” 2019. <https://liquidfactory.company/equipos.html>.
- [133] Mercado Libre, “*Bomba centrífuga para alimentos 2 hp 220v acero inoxidable,*” 2020. https://articulo.mercadolibre.com.co/mco-483306166-bomba-centrifuga-para-alimentos-2-hp-220v-acero-inoxidable-_JM.
- [134] Alkosto, “*Congelador horizontal challenger dual 535 litros brutos ch396 blanco,*” 2020. https://www.alkosto.com/congelador-challenger-horizontal-535lt-ch396-blanco?fuelle=google&medio=cpc&campaign=AK_COL_SMARTGSHP_PEF_CP_C_SMARTGSHP__AON_LB_TLP_SmartShopping-LíneaBlanca-Electrodomésticos-AON_PAC&keyword=&gclid=CjwKCAiAq8f-BRBtEiwAGr3Dge8CeQgL.
- [135] HOMECENTER, “*Tanque 2.000 Litros,*” 2020. <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/31653/tanque-2000->

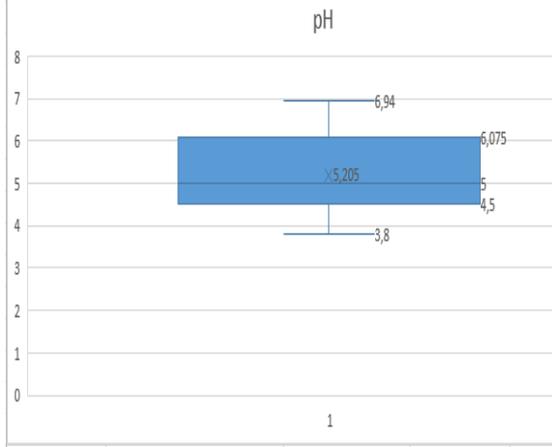
litros.

- [136] SistemaBio, "*Biodigester solution*," 2020. <https://sistema.bio/>.
- [137] Alibaba, "*Industrial MF UF NF RO Membrana de ultrafiltración equipos para bebidas de jugo de filtración*," 2020. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/industrial-mf-uf-nf-ro-membrane-ultrafiltration-equipment-for-beverage-juice-filtration-60777005492.html?spm=a2700.8699010.normalList.25.21842c2ej61kSc>.
- [138] Universidad de Granada, "*Diseño tanques de almacenamiento*," 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/Disenio_Tanques_Almacenamiento.pdf.
- [139] G. G. Serrano, "*Diseño de una planta piloto para la separación de distintos componentes de la leche de vaca*," 2016.
- [140] A. M. S. Ramirez, "*Propuesta de dimensionamiento de un sistema de ultrafiltración, para tratar agua permeada almacenada*," Fundacion Universidad De América, 2016.
- [141] "*Membrana polipropileno plisada 20 micras filtro agua 20 slim*," 2021. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-511459659-membrana-polipropileno-plisada-20-micras-filtro-agua-20-slim-_JM.

ANEXOS

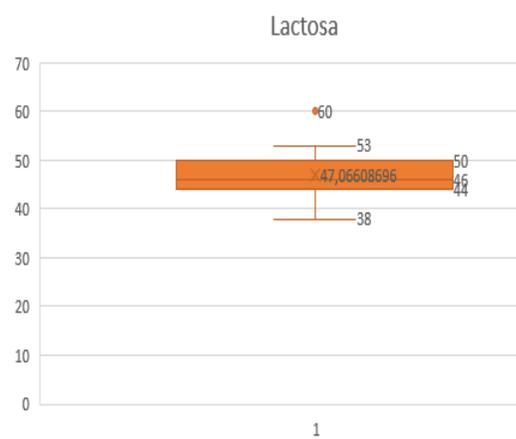
ANEXO 1. DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE

Diagrama caja y bigote de pH



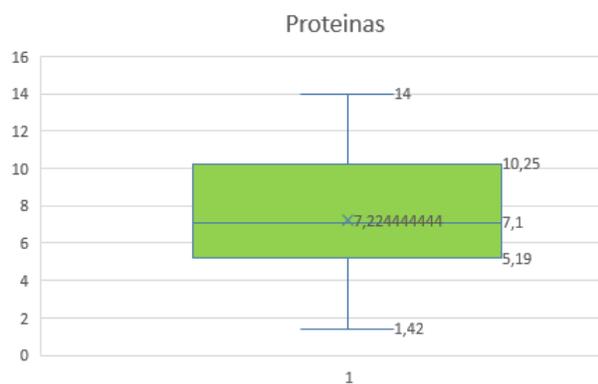
Nota. El valor dentro de la caja (5.25) es la media y el valor señalado con la línea es la mediana (5).

Diagrama caja y bigote de lactosa



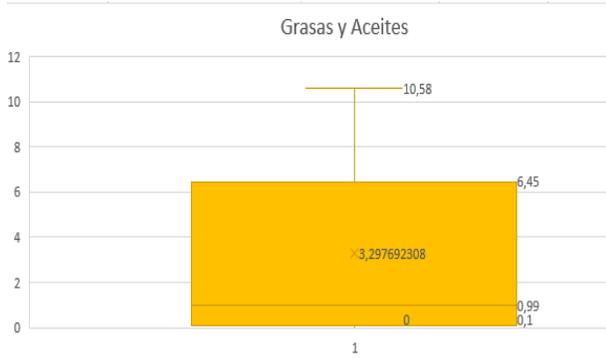
Nota. El valor dentro de la caja (47.06) es la media y el valor señalado con la línea es la mediana (46).

Diagrama caja y bigote de proteínas



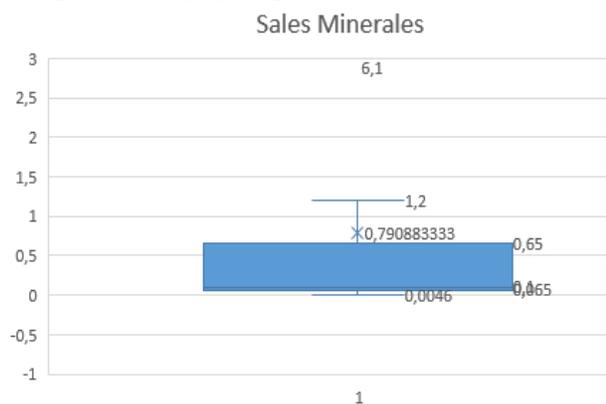
Nota. El valor dentro de la caja (7.22) es la media y el valor señalado con la línea es la mediana (7.1).

Diagrama caja y bigote de grasas y aceites



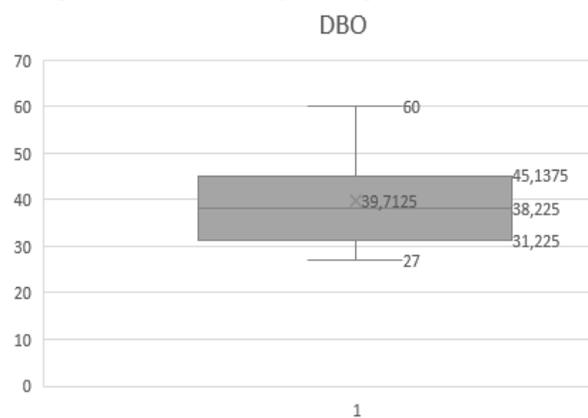
Nota. El valor dentro de la caja (3.29) es la media y el valor señalado con la línea es la mediana (0.99).

Diagrama caja y bigote de sales minerales



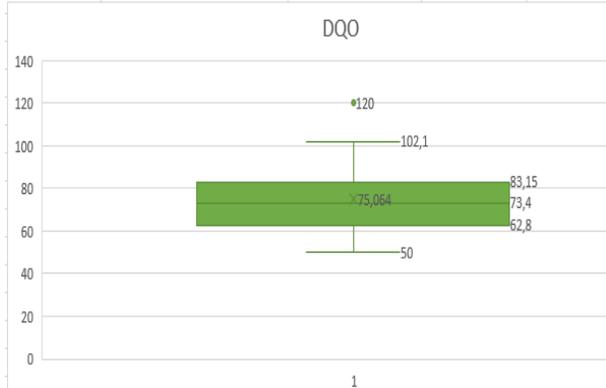
Nota. El valor dentro de la caja (0.79) es la media y el valor señalado con la línea es la mediana (0.10).

Diagrama caja y bigote de DBO



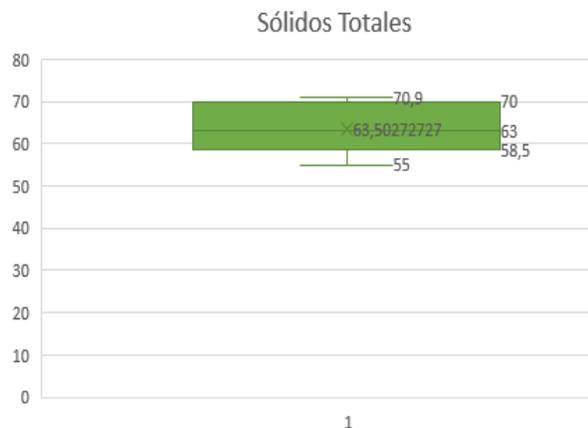
Nota. El valor dentro de la caja (39.71) es la media y el valor señalado con la línea es la mediana (38.22).

Diagrama caja y bigote de DQO



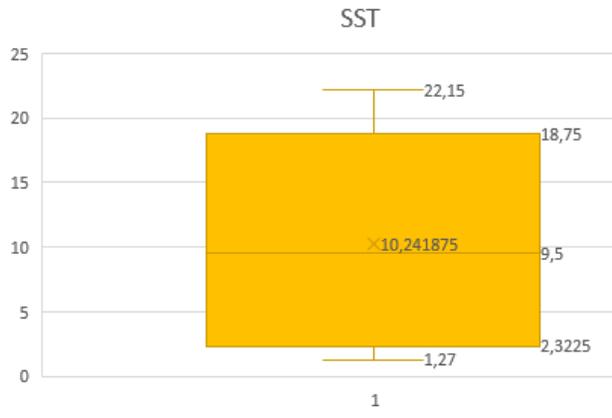
Nota. El valor dentro de la caja (75.06) es la media y el valor señalado con la línea es la mediana (73.40).

Diagrama caja y bigote de sólidos totales



Nota. El valor dentro de la caja (63.50) es la media y el valor señalado con la línea es la mediana (63).

Diagrama caja y bigote de sólidos suspendidos totales



Nota. El valor dentro de la caja (10.24) es la media y el valor señalado con la línea es la mediana (9.50).

ANEXO 2.

INFORMACIÓN PRINCIPAL ECUACIONES DE BUSQUEDA

Información principal de la ecuación “Industrial waste” AND Whey AND Treatments

Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	1972:2020
Sources (Journals, Books, etc)	66
Documents	114
Average years from publication	14.5
Average citations per documents	29.85
Average citations per year per doc	2.938
References	3763
DOCUMENT TYPES	
article	91
book	1
conference paper	11
review	11
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	1668
Author's Keywords (DE)	376
AUTHORS	
Authors	423
Author Appearances	458
Authors of single-authored documents	8
Authors of multi-authored documents	415
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored documents	8
Documents per Author	0.27
Authors per Document	3.71
Co-Authors per Documents	4.02
Collaboration Index	3.92

Nota. La tabla presenta los principales resultados que se lograron obtener por medio del software Bibliometrix. En ella se puede notar la cantidad de artículos obtenidos con la ecuación de búsqueda “Industrial waste” AND Whey AND Treatments.

Información principal de la ecuación “Whey treatments” AND Process

Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	1973:2020
Sources (Journals, Books, etc)	37
Documents	43
Average years from publication	13.3
Average citations per documents	12.95
Average citations per year per doc	1.751
References	1157
DOCUMENT TYPES	
article	35
book chapter	1
conference paper	6
review	1
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	508
Author's Keywords (DE)	125
AUTHORS	
Authors	160
Author Appearances	174
Authors of single-authored documents	1
Authors of multi-authored documents	159
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored documents	1
Documents per Author	0.269
Authors per Document	3.72
Co-Authors per Documents	4.05
Collaboration Index	3.79

Nota. La tabla presenta los principales resultados que se lograron obtener por medio del software Bibliometrix. En ella se puede notar la cantidad de artículos obtenidos con la ecuación de búsqueda “Whey treatments” AND Process.

*Información principal de la ecuación
Whey and Transformation*

Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	1949:2020
Sources (Journals, Books, etc)	139
Documents	198
Average years from publication	13.3
Average citations per documents	24.57
Average citations per year per doc	2.091
References	8051
DOCUMENT TYPES	
article	165
book	2
book chapter	4
conference paper	8
conference review	1
review	17
short survey	1
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	2552
Author's Keywords (DE)	560
AUTHORS	
Authors	852
Author Appearances	922
Authors of single-authored documents	11
Authors of multi-authored documents	841
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored documents	12
Documents per Author	0.232
Authors per Document	4.3
Co-Authors per Documents	4.66
Collaboration Index	4.52

Nota. La tabla presenta los principales resultados que se lograron obtener por medio del software Bibliometrix. En ella se puede notar la cantidad de artículos obtenidos con la ecuación de búsqueda Whey and Transformation.

Información principal de la ecuación "Dairy waste" AND Treatments

Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	1953:2020
Sources (Journals, Books, etc)	210
Documents	354
Average years from publication	19.1
Average citations per documents	17.33
Average citations per year per doc	1.465
References	8033
DOCUMENT TYPES	
article	253
book chapter	6
conference paper	74
conference review	3
review	11
short survey	1
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	2795
Author's Keywords (DE)	789
AUTHORS	
Authors	1064
Author Appearances	1223
Authors of single-authored documents	36
Authors of multi-authored documents	1028
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored documents	44
Documents per Author	0.333
Authors per Document	3.01
Co-Authors per Documents	3.45
Collaboration Index	3.32

Nota. La tabla presenta los principales resultados que se lograron obtener por medio del software Bibliometrix. En ella se puede notar la cantidad de artículos obtenidos con la ecuación de búsqueda "Dairy waste" AND Treatments.

*Información principal de la ecuación
Whey and Valorization*

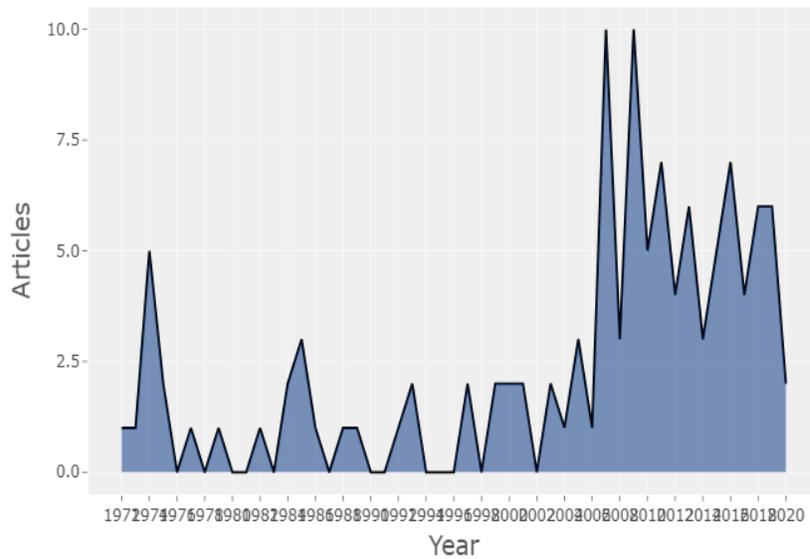
Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	1978:2020
Sources (Journals, Books, etc)	108
Documents	158
Average years from publication	4.48
Average citations per documents	12.2
Average citations per year per doc	2.036
References	8026
DOCUMENT TYPES	
article	118
book	1
book chapter	13
conference paper	6
review	20
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	1530
Author's Keywords (DE)	509
AUTHORS	
Authors	688
Author Appearances	797
Authors of single-authored documents	3
Authors of multi-authored documents	685
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored documents	3
Documents per Author	0.23
Authors per Document	4.35
Co-Authors per Documents	5.04
Collaboration Index	4.42

Nota. La tabla presenta los principales resultados que se lograron obtener por medio del software Bibliometrix. En ella se puede notar la cantidad de artículos obtenidos con la ecuación de búsqueda Whey and Valorization.

ANEXO 3. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA ANUAL

Producción anual científica de la ecuación "INDUSTRIAL WASTE" AND Whey AND Treatments

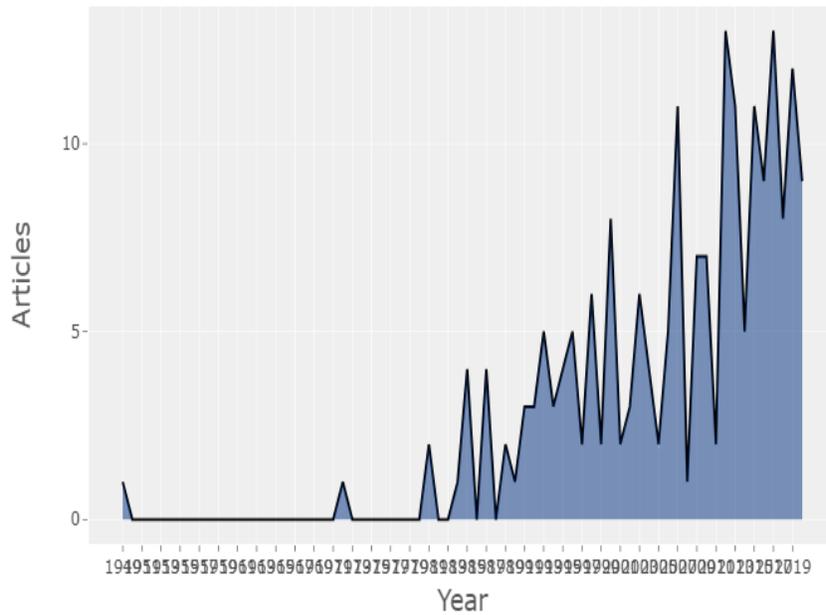
Annual Scientific Production



Nota. Se aprecia, con la ecuación de búsqueda, un notable interés por el tema del lactosuero y se da un crecimiento a partir del año 2000.

Producción anual científica de la ecuación Whey and transformation

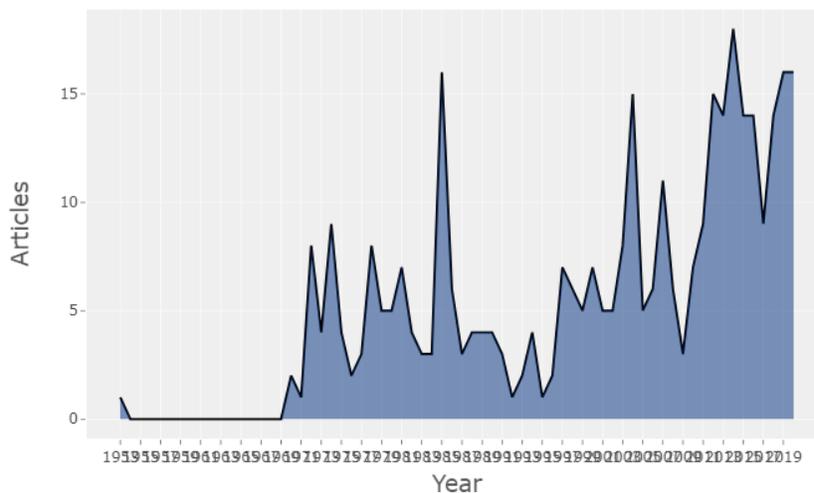
Annual Scientific Production



Nota. Se presenta un crecimiento muy notable desde el año 1980, donde los científicos acogen la medida de transformación del residuo lactosuero.

*Producción anual científica de la ecuación “DAIRY WASTE”
AND TREATMENTS.*

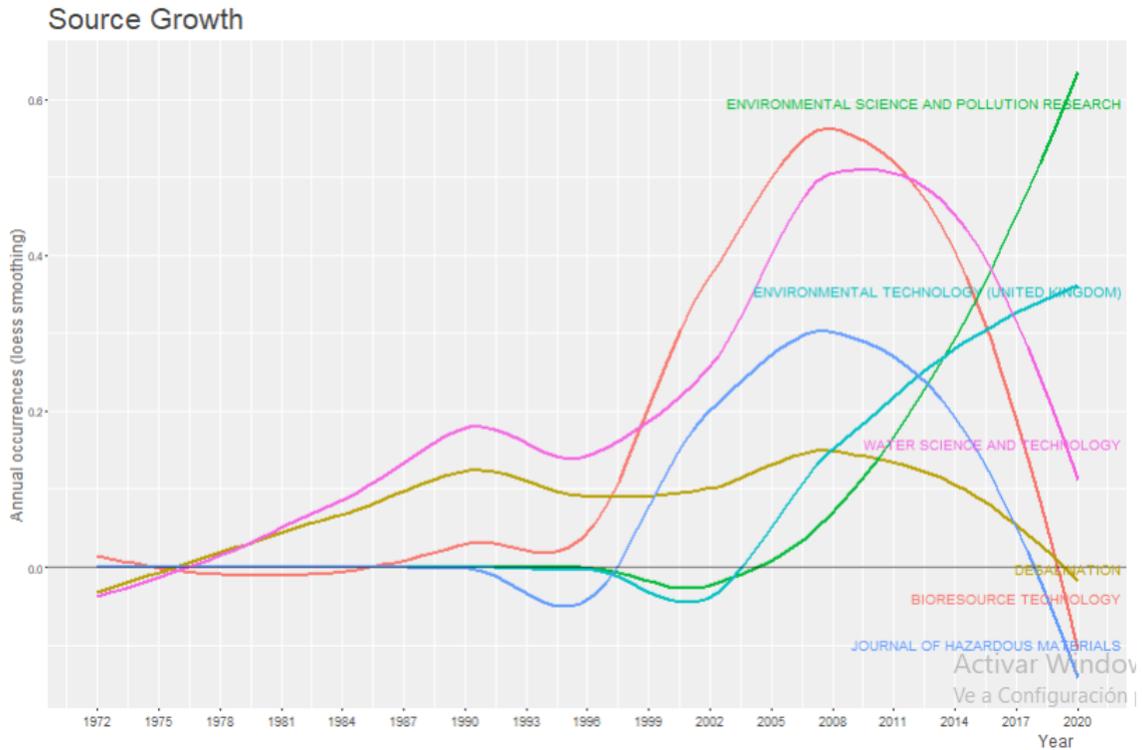
Annual Scientific Production



Nota. En el año 1990 los científicos tuvieron un interés por el tratamiento del lactosuero, aunque en los siguientes años disminuye la producción. Después, la investigación cogió un auge y aumentó la investigación científica del tema sobre residuos lácteos.

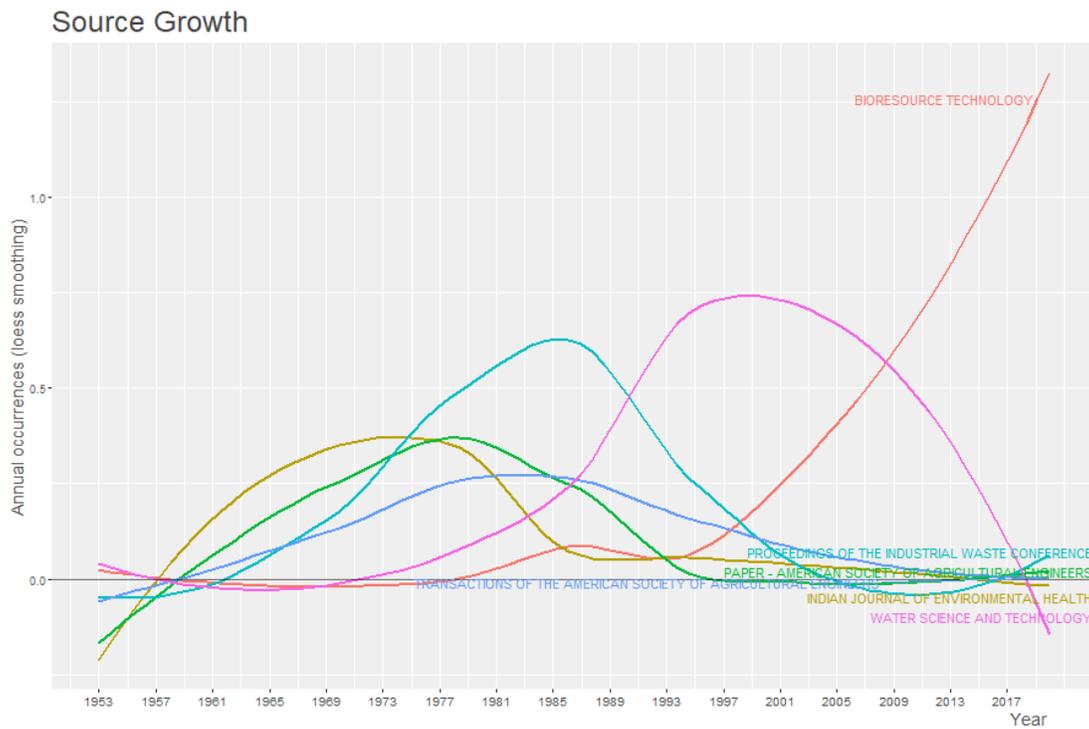
ANEXO 4. CRECIMIENTO DE LAS FUENTES

Crecimiento de las fuentes con la ecuación "Industrial waste" AND Whey AND Treatments.



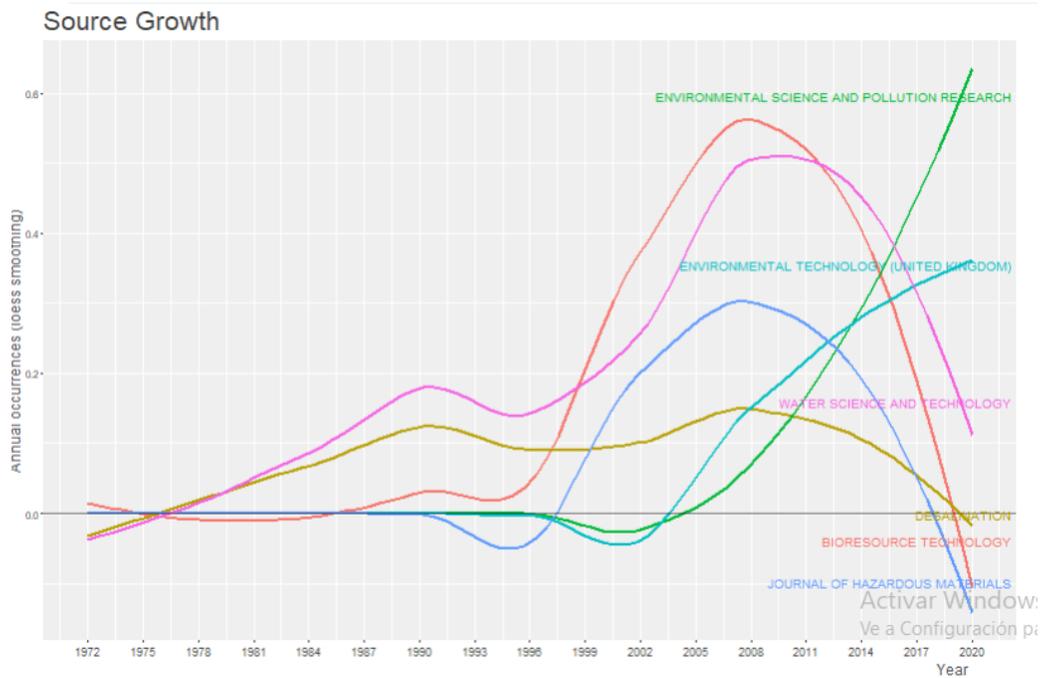
Nota. La búsqueda del crecimiento de las fuentes va hasta el año 2020, donde la mayoría de las fuentes han dejado de presentar interés sobre el tema de los residuos industriales y lactosuero.

Crecimiento de las fuentes con la ecuación “Whey treatments” AND Process.



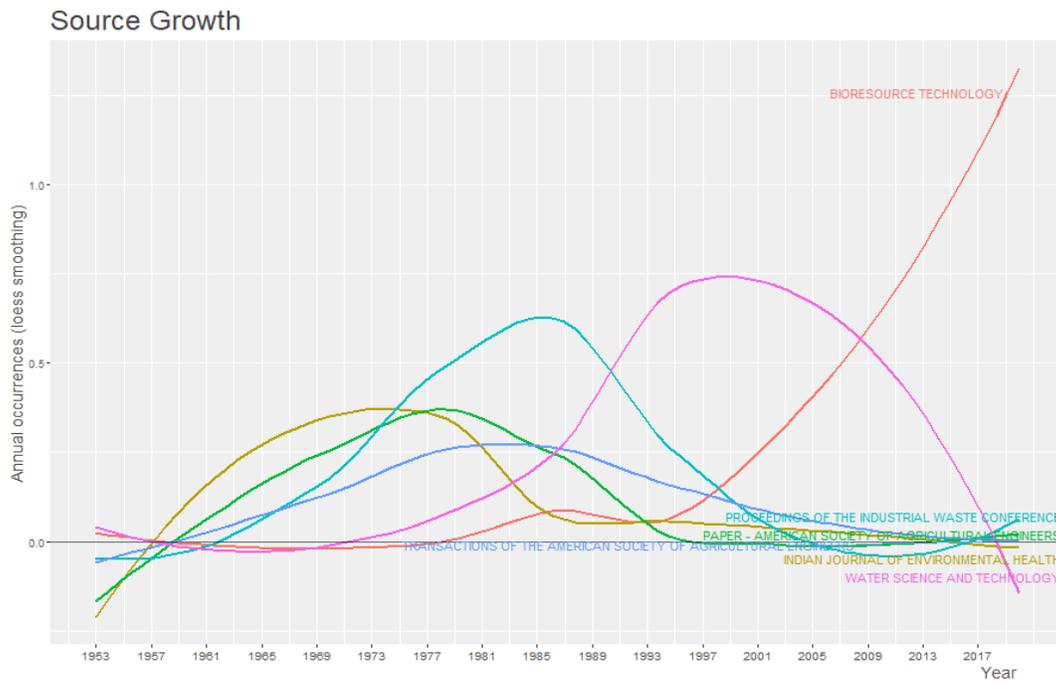
Nota. La gráfica muestra las principales fuentes que se obtienen por la ecuación “Whey treatments” AND Process, donde la fuente Bioresource Technology muestra un gran interés con respecto a las otras fuentes.

Crecimiento de las fuentes con la ecuación Whey and Transformation



Nota. La gráfica muestra las principales fuentes que se obtienen por la ecuación Whey and Transformation donde las fuentes Environmental Science and Pollution Reaserach y Environmental Technology (United Kingdom) muestran un gran interés con respecto a las otras fuentes.

Crecimiento de las fuentes con la ecuación "Dairy waste" AND Treatments



Nota. En la gráfica obtenida por la ecuación "Dairy waste" AND Treatments se logra identificar un amplio interés sobre el tratamiento del residuo lactosuero de la fuente Bioresource Technology.

ANEXO 5. PRINCIPALES FUENTES

Top 20 de los autores para la ecuación “Industrial waste” AND Whey AND Treatments *Top 20 de los autores para la ecuación “Whey treatments” AND Process*

Sources	Articles
WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY	11
BIORESOURCE TECHNOLOGY	9
DESALINATION	4
ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH	4
ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY (UNITED KINGDOM)	4
JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS	4
APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY	3
BIODEGRADATION	3
ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY	3
JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY	3
JOURNAL OF DAIRY SCIENCE	3
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	3
SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	3
CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS	2
CONSERVATION AND RECYCLING	2
WASTE MANAGEMENT	2
WASTE MANAGEMENT AND RESEARCH	2
ACS SUSTAINABLE CHEMISTRY AND ENGINEERING	1
AGRICULTURAL WASTES	1
ASAE PUBLICATION	1

Nota. En la tabla resalta las principales fuentes obtenidas, Water Science And Technology lidera con 11 artículos publicados.

Sources	Articles
BRAZILIAN JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING	2
CHEMOSPHERE	2
DESALINATION	2
DESALINATION AND WATER TREATMENT	2
MEMBRANES	2
3 BIOTECH	1
AGRO FOOD INDUSTRY HI-TECH	1
ANALYTICAL LETTERS	1
APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY	1
ASAE PUBLICATION	1
BIOCHEMICAL ENGINEERING JOURNAL	1
BIOPROCESS AND BIOSYSTEMS ENGINEERING	1
BIORESOURCE TECHNOLOGY	1
BIOTECHNOLOGY LETTERS	1
CHEM.ECON.ENGG REV.	1
COMMUNICATIONS IN AGRICULTURAL AND APPLIED BIOLOGICAL SCIENCES	1
ELECTRONIC JOURNAL OF ENVIRONMENTAL AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY	1
ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY AND INNOVATION	1
FRONTIERS IN MICROBIOLOGY	1
GROUNDWATER MONITORING AND REMEDIATION	1

Nota. Se aprecia resultados similares en la publicación de artículos de las fuentes principales.

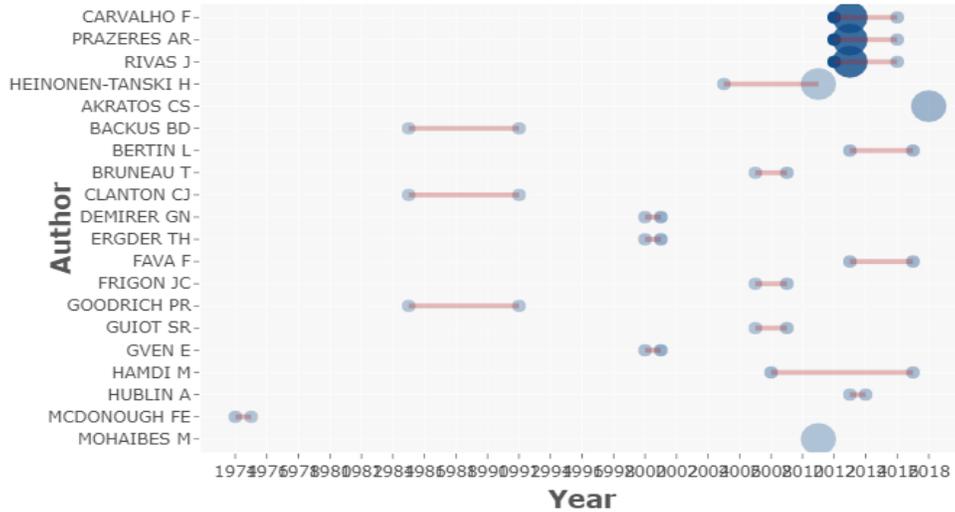
*Top 20 de las fuentes para la ecuación
Whey and Valorization*

Sources	Articles
WASTE AND BIOMASS VALORIZATION	7
BIORESOURCE TECHNOLOGY	6
JOURNAL OF DAIRY SCIENCE	5
WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY	4
CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS	3
FOOD CHEMISTRY	3
FOODS	3
INTERNATIONAL DAIRY JOURNAL	3
JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY	3
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	3
JOURNAL OF FOOD ENGINEERING	3
JOURNAL OF THE SCIENCE OF FOOD AND AGRICULTURE	3
TRENDS IN FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY	3
ACS SUSTAINABLE CHEMISTRY AND ENGINEERING	2
BIOCHEMICAL ENGINEERING JOURNAL	2
BMC BIOTECHNOLOGY	2
ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT	2
HANDBOOK ON CHEESE: PRODUCTION CHEMISTRY AND SENSORY PROPERTIES	2
INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY	2
JOURNAL OF AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY	2

Nota. Se aprecia las principales fuentes de la búsqueda Whey and Valorization, donde las primeras dos fuentes destacan en varias ecuaciones búsqueda.

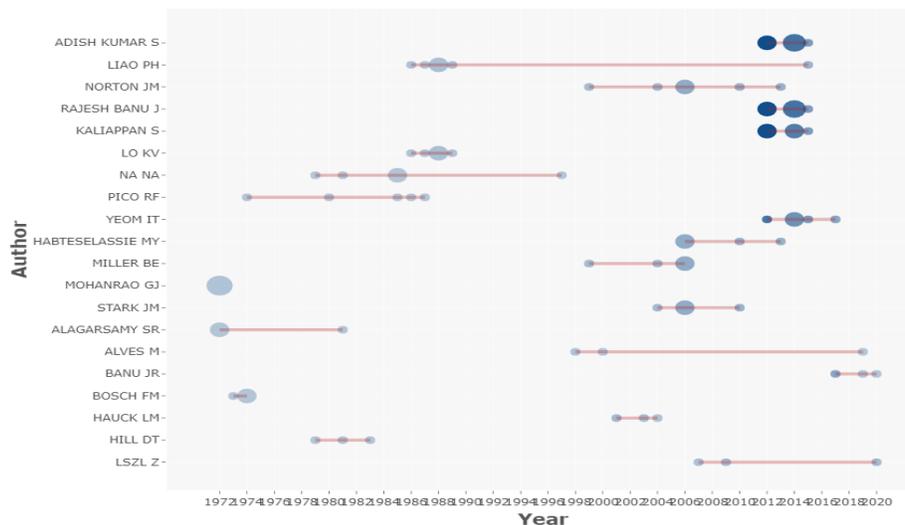
ANEXO 6. PRINCIPALES AUTORES

*Producción de los principales autores de la ecuación “Industrial waste”
AND Whey AND Treatments*



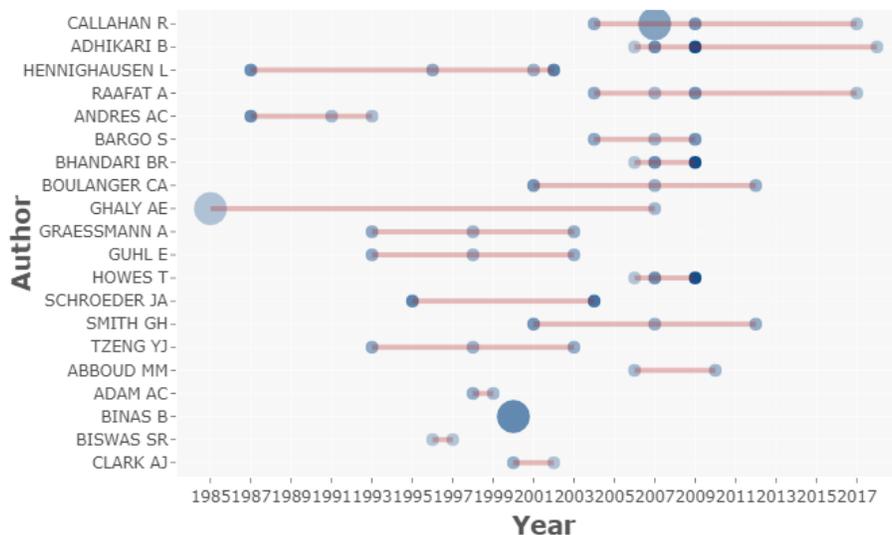
Nota. Se muestra la producción de los diferentes autores por el transcurso de los años, en donde destaca en los últimos años los autores Carvalho, Prazzers y Rivas.

Producción de los principales autores de la ecuación “Whey treatments” AND Process



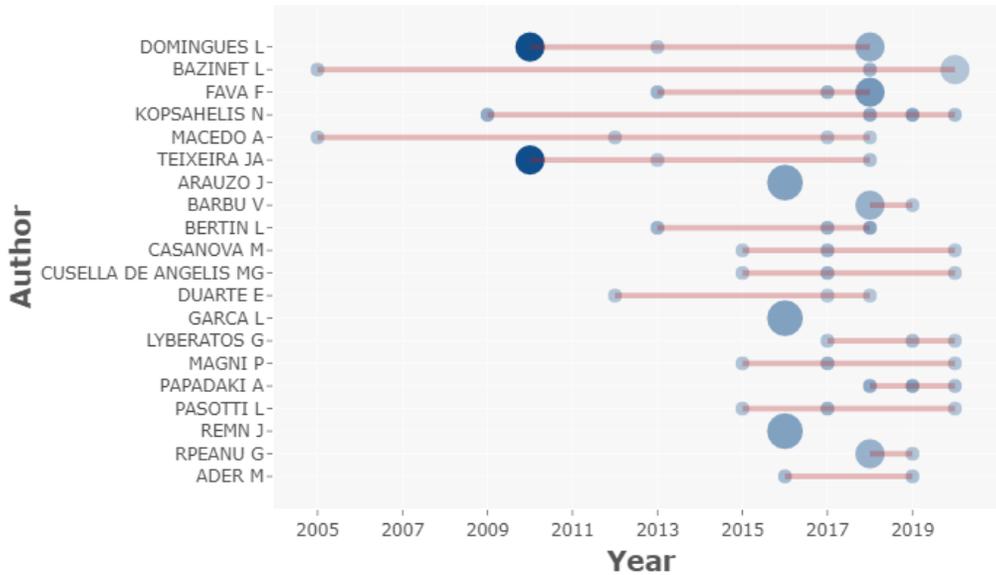
Nota. Se muestra la producción de los diferentes autores por el transcurso de los años, en donde destaca en los últimos años los autores Adish, Rajesh y Kaliappan.

Producción de los principales autores de la ecuación Whey and Transformation



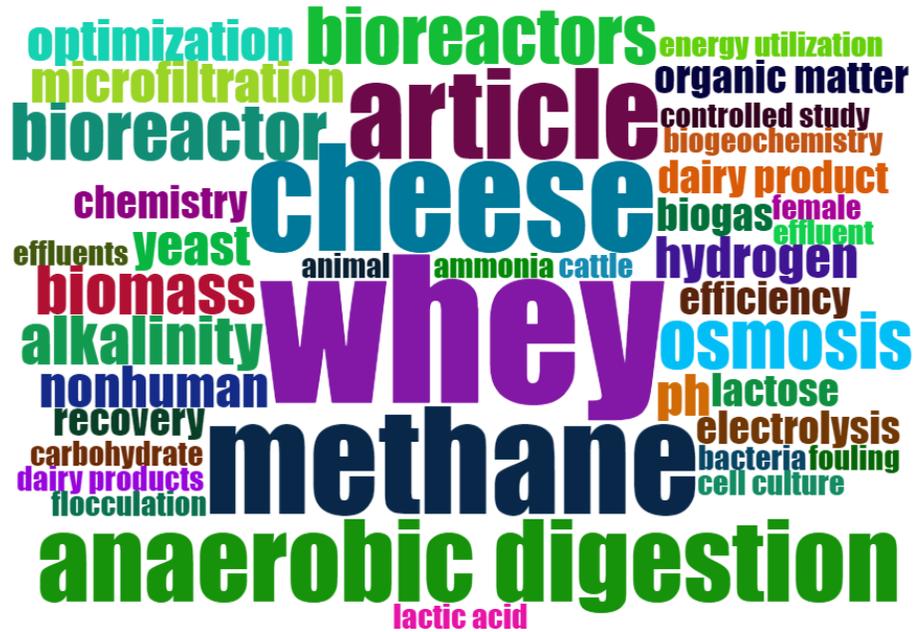
Nota. Se muestra la producción de los diferentes autores por el transcurso de los años, en donde destaca en los últimos años los autores Callahan, Adhikari, Hennighausen.

Producción de los principales autores de la ecuación Whey and Valorization



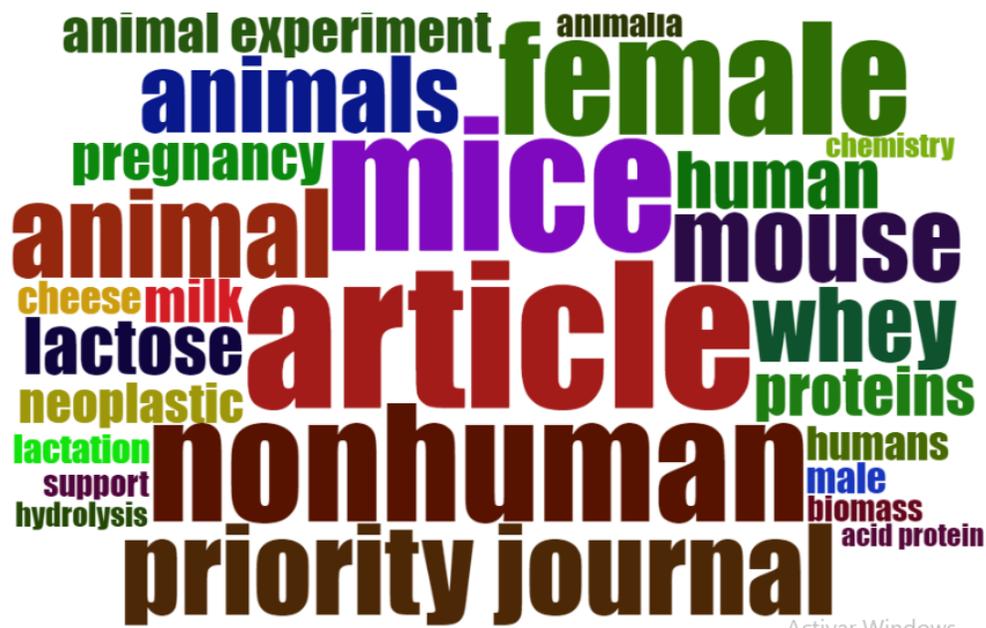
Nota. Se muestra la producción de los diferentes autores por el transcurso de los años, en donde destaca en el último año con una mayor frecuencia de artículos publicados el autor Bazinet.

Nube de palabras de la ecuación "Whey treatments" AND Process



Nota. En la figura se muestra las palabras claves con mayor relevancia de la búsqueda, en ella destaca la palabra whey y el producto methane.

Nube de palabras de la ecuación Whey and Transformation



Nota. En la figura se muestra las palabras claves con mayor relevancia de la búsqueda, en ella destaca la palabra nonhuman y el producto lactosa. También se destaca que en esta ecuación la investigación se torna más al sector de la salud.

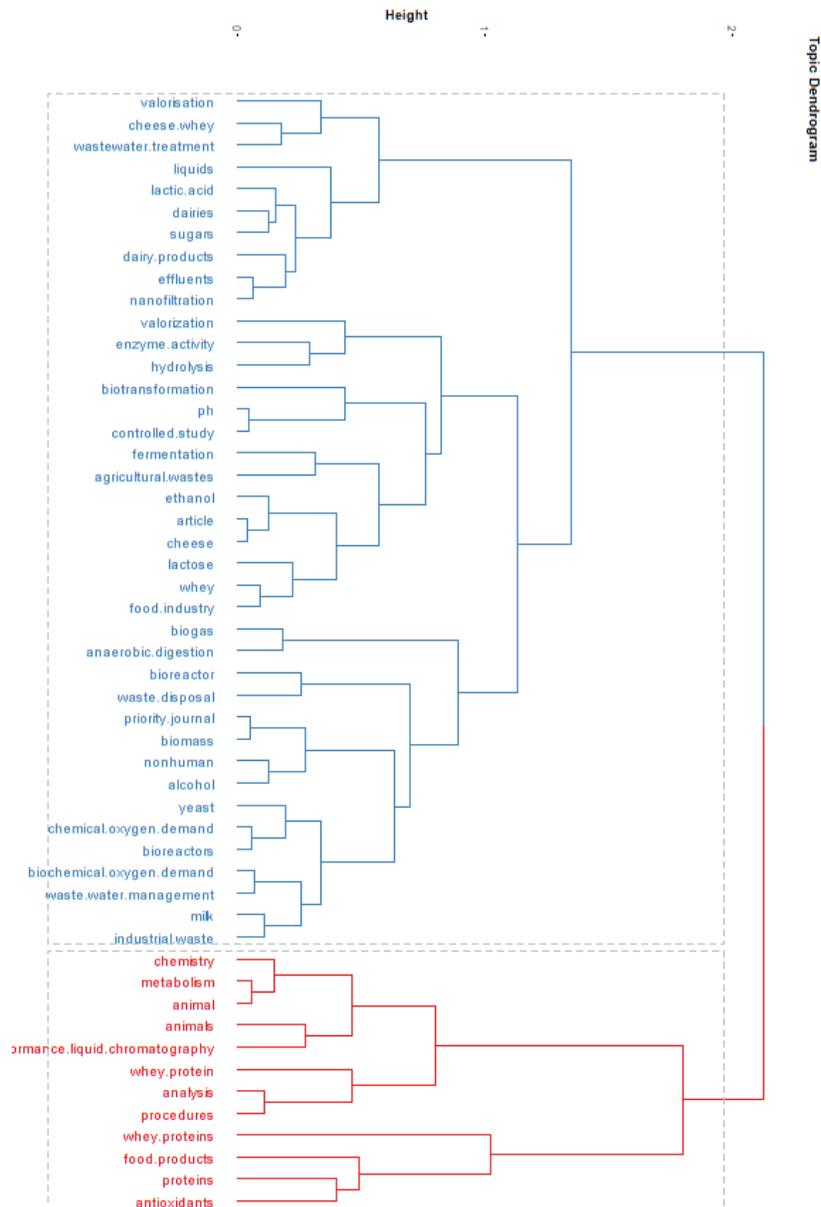
Nube de palabras de la ecuación "Dairy waste" AND Treatments



Nota. En la figura se muestra las palabras claves con mayor relevancia de la búsqueda, en ella destaca la palabra dairies y el producto biogás.

ANEXO 8. DENDOGRAMA DE PALABRAS

Dendograma de la ecuación “DAIRY WASTE” AND TREATMENTS.



Nota. En la figura se muestra la conexión de las palabras claves, formando uniones de grupos y subgrupos. El mayor grupo es la separación de las palabras claves de nuestra búsqueda “Dairy waste” y “treatments”.

ANEXO 9.

PAÍSES CON MAYOR PARTICIPACIÓN CIENTÍFICA

Top 20 de los países con mayor participación científica de la ecuación Whey and Valorization.

region	Freq
ITALY	60
CANADA	36
PORTUGAL	35
SPAIN	21
GREECE	20
INDIA	15
BRAZIL	13
ROMANIA	12
CHINA	11
FRANCE	10
ALGERIA	9
SERBIA	8
ARGENTINA	7
DENMARK	7
GERMANY	6
LITHUANIA	6
MEXICO	6
USA	6
AUSTRIA	5
NORWAY	5

Nota. En la tabla se aprecia los países que más destacan en esta búsqueda, al que el país Italia destaca una amplia investigación sobre los temas relacionados al lactosuero.

ANEXO 10.
PONDERACIÓN RAZONABLE

Ponderación razonable de los criterios.

Índice de			
consistencia	$CI=(n_{max}-n)/(n-1)$		0.028
Consistencia			
Aleatoria	$RI=1,98*(n-2)/n$		0.66
Relación de			
consistencia	$CR=CI/RI$		0.042
CR<0,1 Ponderación razonable			

Nota. En esta tabla se calcula la ponderación de validación para validar la comparación de los criterios. CI= Índice consistencia, RI= Consistencia aleatoria, nmax= suma del resultado de la matriz AxP, n= Número de criterios.

ANEXO 11.
MATRIZ COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

Matriz de comparación de alternativas: Baja complejidad del proceso de obtención.

ALTERNATIVAS	Ais Prot	BBS	B/F	CP	Lactosa	SCL	S Des	SP
Aislado de proteínas	1	1/4	1/6	1/4	1/5	1/5	1/2	1/3
Bebidas a base de suero	4	1	1/3	1	1/2	1/2	6	2
Biogás / Fertilizantes	6	3	1	3	2	2	7	3
Concentrado de Proteínas	4	1	1/3	1	1/3	1/3	2	1/2
Lactosa	5	2	1/2	3	1	1	1/4	2
Suero concentrado líquido	5	2	1/2	3	1	1	1/4	2
Suero desmineralizado	2	1/6	1/7	1/2	4	4	1	1/4
Suero en polvo	3	1/2	1/3	2	1/2	1/2	4	1
TOTAL	30	10	3	14	10	10	21	11

Nota. En esta tabla se puede observar las ponderaciones con respecto a la escala de Saaty evaluando el criterio de baja complejidad del proceso de obtención. Ais prot= Aislado de proteínas, BBS= Bebidas a base de lactosuero, B/F= Biogás/fertilizantes, CP= Concentrado de proteínas. SCL= Suero de concentrado líquido, Suer Desm= Suero desmineralizado, SP= Suero en polvo.

Matriz normalizada: Baja complejidad del proceso de obtención

MATRIZ NORMALIZADA								VECTOR PROMEDIO	# Oper Unitarias
0,033	0,025	0,050	0,018	0,021	0,021	0,02380952	0,03007519	0,028	6 o 7
0,133	0,101	0,101	0,073	0,052	0,052	0,28571429	0,18045113	0,122	4 o 5
0,200	0,303	0,302	0,218	0,210	0,210	0,33333333	0,27067669	0,256	3
0,133	0,101	0,101	0,073	0,035	0,035	0,0952381	0,04511278	0,077	4 o 5
0,167	0,202	0,151	0,218	0,105	0,105	0,01190476	0,18045113	0,142	3 o 4
0,167	0,202	0,151	0,218	0,105	0,105	0,01190476	0,18045113	0,142	3 o 4
0,067	0,017	0,043	0,036	0,420	0,420	0,04761905	0,02255639	0,134	6
0,100	0,050	0,101	0,145	0,052	0,052	0,19047619	0,09022556	0,098	4

Nota. En la tabla se muestra la matriz normalizada para el criterio de baja complejidad del proceso de obtención.

Matriz de comparación de alternativas: \$/tonelada suero líquido.

ALTERNATIVAS	Ais Prot	BBS	B/F	CP	Lactosa	SCL	S Des	SP
Aislado de proteínas	1	4	9	6	6	7	7	3
Bebidas a base de suero	1/4	1	6	3	2	6	4	1
Biogás / Fertilizantes	1/9	1/6	1	1/4	1/5	1/2	1/3	1/7
Concentrado de Proteínas	1/6	1/3	4	1	1/2	3	2	1/4
Lactosa	1/6	1/2	5	2	1	5	3	1/3
Suero concentrado líquido	1/7	1/6	2	1/3	1/5	1	1/2	1/6
Suero desmineralizado	1/7	1/4	3	1/2	1/3	2	1	1/3
Suero en polvo	1/3	1	7	4	3	6	3	1
TOTAL	2	7	37	17	13	31	21	6

Nota. En esta tabla se puede observar las ponderaciones con respecto a la escala de Saaty evaluando el criterio de baja complejidad del proceso de obtención. Ais prot= Aislado de proteínas, BBS= Bebidas a base de lactosuero, B/F= Biogás/fertilizantes, CP= Concentrado de proteínas. SCL= Suero de concentrado líquido, S Des= Suero desmineralizado, SP= Suero en polvo.

Matriz normalizada: \$/tonelada suero líquido.

MATRIZ NORMALIZADA								VECTOR PROMEDIO	\$/tonelada suero líquido	
0,432	0,539	0,243	0,351	0,453	0,230	0,336	0,48183556	0,383	\$	950.000
0,108	0,135	0,162	0,176	0,151	0,197	0,192	0,16061185	0,160	\$	269.518
0,048	0,022	0,027	0,015	0,015	0,016	0,016	0,02294455	0,023	\$	65.454
0,072	0,045	0,108	0,059	0,038	0,098	0,096	0,04015296	0,069	\$	165.561
0,072	0,067	0,135	0,117	0,076	0,164	0,144	0,05353728	0,104	\$	192.513
0,062	0,022	0,054	0,020	0,015	0,033	0,024	0,02676864	0,032	\$	77.005
0,062	0,034	0,081	0,029	0,025	0,066	0,048	0,05353728	0,050	\$	114.288
0,144	0,135	0,189	0,234	0,227	0,197	0,144	0,16061185	0,179	\$	277.218

Nota. En la tabla se muestra la matriz normalizada para el criterio de \$/tonelada suero líquido.

Matriz de comparación de alternativas: Kg/100 Kg de suero líquido.

ALTERNATIVAS	Ais Prot	BBS	B/F	CP	Lactosa	SCL	S Des	SP
Aislado de proteínas	1	1/9	1/8	1/3	1/3	1/6	1/4	1/4
Bebidas a base de suero	9	1	3	9	8	6	8	8
Biogás / Fertilizantes	8	1/3	1	7	7	3	4	6
Concentrado de Proteínas	3	1/9	1/7	1	1/2	1/6	1/3	1/3
Lactosa	3	1/8	1/7	2	1	1/5	1/2	1/2
Suero concentrado líquido	6	1/6	1/3	6	5	1	4	4
Suero desmineralizado	4	1/8	1/4	3	2	1/4	1	2
Suero en polvo	4	1/8	1/6	3	2	1/4	1/2	1
TOTAL	38	2	5	31	26	11	19	22

Nota. En esta tabla se puede observar las ponderaciones con respecto a la escala de Saaty evaluando el criterio de Kg/100 Kg de suero líquido. Ais prot= Aislado de proteínas, BBS= Bebidas a base de lactosuero, B/F= Biogás/fertilizantes, CP= Concentrado de proteínas. SCL= Suero de concentrado líquido, S Des= Suero desmineralizado, SP= Suero en polvo.

Matriz normalizada: Kg/100 Kg de suero líquido.

MATRIZ NORMALIZADA								VECTOR PROMEDIO	(kg/100 kg de suero líquido)
0,026	0,053	0,024	0,011	0,013	0,015	0,01345291	0,01132075	0,021	0,6
0,237	0,477	0,581	0,287	0,310	0,544	0,43049327	0,36226415	0,404	140
0,211	0,159	0,194	0,223	0,271	0,272	0,21524664	0,27169811	0,227	40
0,079	0,053	0,028	0,032	0,019	0,015	0,01793722	0,01509434	0,032	1,6
0,079	0,060	0,028	0,064	0,039	0,018	0,02690583	0,02264151	0,042	2,8
0,158	0,079	0,065	0,191	0,194	0,091	0,21524664	0,18113208	0,147	29
0,105	0,060	0,048	0,096	0,077	0,023	0,05381166	0,09056604	0,069	5,8
0,105	0,060	0,032	0,096	0,077	0,023	0,02690583	0,04528302	0,058	4,54

Nota. En la tabla se muestra la matriz normalizada para el criterio de Kg/100 Kg de suero líquido.

**ANEXO 12.
CAPITAL DE TRABAJO**

Capital de trabajo de bebidas a base de lactosuero.

Capital de trabajo	Valor
Materia prima	\$ 444134000
Mano de obra	\$ 21067272
Costos indirectos de fabricación	\$ 784461961
CAPITAL DE TRABAJO	\$ 1249663233
Imprevistos del 10%	\$ 124966323
Total, capital de trabajo anual	\$ 1374629556

Nota. La tabla muestra el total de la suma de la materia prima (azúcar, estabilizantes, citratos, pulpa de naranja congelada), el total de la mano de obra por dos operarios y el total de los costos indirectos de fabricación (botellas 400ml, tapas, etiquetas, energía, gas, servicio de alcantarillado y acueducto).

Capital de trabajo de biogás.

Capital de trabajo	Valor
	\$
Materia prima	-
Mano de obra	\$ 10533636
Costos indirectos de fabricación	\$ 4845999
CAPITAL DE TRABAJO	\$ 15379635
Imprevistos del 10%	\$ 1537963
Total, capital de trabajo anual	\$ 16917598

Nota. La materia prima del proceso es nula. El total de mano de obra es respecto a un operador. Los costos indirectos de fabricación se dan por el transporte de materia prima, operación de la bomba centrífuga y servicios de acueducto.

Capital de trabajo de suero concentrado líquido.

Capital de trabajo	Valor	
	\$	
Materia prima	-	
Mano de obra	\$	21067272
Costos indirectos de fabricación	\$	47696895
CAPITAL DE TRABAJO	\$	68764167
Imprevistos del 10%	\$	6876417
Total, capital de trabajo anual	\$	75640584

Nota. La materia prima es nula. La mano de obra va respecto al total de dos operarios. Los costos indirectos de fabricación se dan por el consumo energético de todos los equipos, servicios de acueducto-alcantarillado y de gas.

**ANEXO 13.
BALANCES DE MATERIA**

Balance de materia bebida a base de lactosuero.

Flujo (Kg/ día) /# Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lactosuero	1026,0	0,0	1025,5	1025,5	0	0	0	0	0
caseína	0	0	0	0	0	0	0	0	0
azúcar	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
estabilizantes	0	0	0	0	102,6	0	0	0	0
citratos	0	0	0	0	0	10,26	0	0	0
pulpa	0	0	0	0	2,05	0	0	0	0
Jarabe de lactosuero	0	0	0	0	0	0	0	205,2	0
Bebida de lactosuero	0	0	0	0	0	1140,4	1140,4	0	0
	0	0	0	0	0	1	1	0	1345,6
Total, Kg/día	1026,0	0,5	1025,5	1025,5	114,9	1140,4	1140,4	205,2	1345,6
Temperatura (°C)	0	0	0	0	1	1	1	0	1
Presión (atm)	25	25	25	4	25	45	4	4	4
	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Nota. Se tuvo en cuenta el balance general de materia, en donde los términos de generación y acumulación no intervinieron, por lo que la entrada de los componentes se igualo a la salida de los mismos.

Balance de materia biogás.

Flujo (L/ día) /# Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lactosuero	1000,0	0,00	999,5	999,5	0	0	0	0	0
caseína	0	0,48	0	0	0	0	0	0	0
Estiércol	0	0	0	0	538,2	0	0	0	0
Mezcla inoculada	0	0	0	0	0	1537,7	0	0	0
Sustrato	0	0	0	0	0	0	1538	0	0
Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	153,77	0
Biogás	0	0	0	0	0	0	0	0	20000
Total, Kg/día	1000,0	0,48	999,5	999,5	538,2	1537,7	1537,7	153,77	20000
Temperatura (°C)	0	0	2	2	0	2	2	0	0
Presión (atm)	26	26	26	26	26	30	30	30	30
	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Nota. El balance fue adaptado por datos de consumo y generación de fuentes teóricas debido a que los datos requeridos para su elaboración son de naturaleza experimental.

Balance de materia suero concentrado líquido.

Flujo (Kg/ día) /# Corriente	1	2	3	4	5	6	7
Lactosuero	1026,00	1026,00	0	0	0	0	0
Nata	0	0	0,5	0	0	0	0
Lactosuero pretratado	0	0	0	1025,50	1025,50	0	0
Permeado	0	0	0	0	0	985,0	0
Concentrado	0	0	0	0	0	0	40,51
Total, Kg/día	1026,00	1026,00	0,50	1025,50	1025,50	984,99	40,51
Temperatura (°C)	25	4	10	10	4	15	15
Presión (atm)	1	1	1	1	1	2	2

Nota. Se tuvo en cuenta el balance general de materia, en donde los términos de generación y acumulación no intervinieron, por lo que la entrada de los componentes se iguala a la salida de los mismos.

ANEXO 14.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar otro software para la agrupación por áreas iguales de los artículos generados por las diferentes ecuaciones.

Se recomienda hacer una caracterización experimental del lactosuero correspondiente a la empresa, ya que el resultado de esta puede variar a la toma de otros productos como puede ser bebidas fermentadas.

Se recomienda realizar un análisis microbiológico en la bebida a base de lactosuero, así se puede garantizar la inocuidad del producto y garantizar la efectividad de la operación de pasteurización. También se recomienda realizar un análisis sensorial al producto final, con el objetivo de evaluar un grupo de personas en diferentes aspectos como el sabor, color, entre otros.

Se recomienda disminuir los costos indirectos del proceso de biogás, específicamente en la recolección y transporte del estiércol vacuno, ya que esta conlleva un gasto de gran impacto.

Se recomienda para implementar el proceso de obtención de concentración de suero líquido, la unión de pequeñas y medianas queserías con el fin de aumentar el flujo de lactosuero y compartir gastos.

Se recomienda evaluar la viabilidad de los procesos utilizando un crédito bancario para financiar un porcentaje del proyecto, buscando amortiguar la inversión inicial.