

# **Estudio sobre tecnologías ambientales para el aprovechamiento de residuos en la industria láctea**

Laura Daniela Cely Chivata

Laura.celyc@usantoto.edu.co

Universidad Santo Tomás, Colombia

## **RESUMEN**

La industria láctea se encuentra en los sectores más fundamentales en el factor de la economía de varios países, se producen alrededor de 9 litros de suero por cada kilo de queso, también constituye el 90 por ciento del volumen de leche y contiene nutrientes como lactosa, proteína y sales minerales. Hoy en día, hay menos industrias que deciden reutilizar el suero, lo que genera una mala disposición de los residuos, destacando que el suero, cuando se descarga al medio ambiente sin tener en cuenta algún tipo de tratamiento, requiere demanda química de oxígeno, desaprovechando cada uno de sus compuestos con valor agregado, por lo que al contener una alta carga orgánica, lo convierten en un potencial contaminante para suelos y cuerpos de agua los cuales generalmente se han desperdiciado, teniendo en cuenta que según fuentes de información sobre DBO y demanda química de oxígeno entregada por el suero en el medio ambiente, se encuentran entre 27 a 60 kgm<sup>3</sup> y 50 a 102 kgm<sup>3</sup>, respectivamente. Por ello, teniendo en cuenta su alto valor actualmente se han implementado nuevas tecnologías utilizadas para minimizar el impacto resultante y a su vez el aprovechamiento de este tipo de residuos.

Para el desarrollo del presente trabajo será realizada una revisión bibliográfica aplicada a investigación descriptiva con el fin de observar, identificar y analizar de acuerdo a una metodología en base a la argumentación de la bibliografía, recopilación de la información, revisión y selección de las publicaciones para la elaboración de la misma según su calidad y relevancia sobre las nuevas tecnologías utilizadas en diferentes escenarios para el aprovechamiento de los residuos causados por la industria láctea.

**PALABRAS CLAVE:** Residuos, industria láctea, aprovechamiento.

## **INTRODUCCIÓN**

La industria láctea a nivel general produce alrededor de 200 millones de toneladas de subproductos líquidos como lo es el suero de la leche o también denominado lacto suero, el cual se presenta por consecuencia de la elaboración del queso y mantequillas, debido a sus propiedades físicas y químicas del subproducto generado contiene proteínas del suero, mediante la diversificación de tecnologías en el proceso productivo se pueden generar alternativas de aprovechamiento y utilización del suero en procesos alimentarios, siendo procesada con alto valor nutricional y bajos costos de producción (Mieles et al., 2018).

Las cualidades nutricionales y figura en salud han convertido a los lácteos en el segundo alimento más comprado después de la carne. Existen reglamentos que definen las características que deben tener la leche y sus derivados en general, así mismo las normas técnicas y sanitarias que deben observarse. («MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES EN LA INDUSTRIA LÁCTEA», 2023)

El desarrollo de la industria lechera ha demostrado ser un anticipo socioeconómico y nutricional. Esto se debe a que el proceso de responsabilidad social empresarial, como se le conoce, apoya a través de su estructura y evaluación a una industria ética y ambientalmente sostenible. Dado que la descarga constante de este subproducto ha tenido un impacto particular en los cuerpos de agua y las tierras agrícolas, este estudio examinará su impacto ambiental para examinar los cambios en el medio ambiente, debido a que esta problemática ambiental se encuentra ligada a lo que han sido los bajos niveles de aprovechamiento de suero lácteo, causando afectaciones en especial a recursos de agua y suelo por el vertimiento sin previos tratamientos y los avances en la tecnología utilizada.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

- Identificar diferentes tecnologías aplicadas en aprovechamiento y manejo de los residuos provocados en la industria láctea.

### **Objetivos específicos:**

- Emplear el intercambio de información científica, sobre las aplicaciones realizadas orientadas a las nuevas tecnologías y tecnificación de los procesos de aprovechamiento del suero en documentos como estudios, tesis, revistas, entre otros, de acuerdo a las bases de datos.

- Interpretar los datos que se obtienen en mejoras y eficiencias para la disminución de impactos ambientales generados en la industria láctea.

## **PLANTEAMIENTO DE LA TEMATICA**

La industria alimentaria se ha determinado dentro de las que más generan contaminantes en el mundo, produciendo residuos con una alta carga orgánica en compleja desintegración en todo el medio ambiente. El suero considerado como subproducto de esta industria, contempla importantes componentes como lo es la lactosa, proteínas y también algunos minerales.

Se encuentran dos principales tipos de suero: suero dulce y suero agrio. El dulce el cual se obtiene mediante el proceso de la producción de leche, donde es utilizada la coagulación enzimática teniendo pH cercano a 5,6. El segundo suero se forma por medio de la coagulación por acidificación (Arrojo et al., 2003). Según estadísticas el 47 por ciento de los ciento quince millones de toneladas de suero que se producen anualmente abarcando todo el mundo se desechan en el medio ambiente. En cuanto a la industria láctea, se considera una actividad de gran importancia a nivel económico, debido al alto consumo a nivel nacional de los productos derivados de la industria; permitiendo hacer de esta una actividad rentable en todo el territorio. Sin embargo, algunos productores y expertos en el tema afirman que desde hace algunos años se ha presentado una crisis que genera atraso; debido al creciente aumento en los costos en los insumos y en la producción y a la disminución de las ganancias obtenidas por los productores, generando desventajas frente a productores externos (Universidad de Los Andes, 2017).

El sector lácteo de Colombia representa actualmente el 2,3% del PIB del país y el 24,3% del PIB agrícola, y además genera más de 700.000 empleos directos. Hemos registrado más de 395.215 unidades de producción de leche al cuantificar cerca de 400.000 fincas o ranchos con diferente cantidad de animales productores (Universidad de Los Andes, 2017). Este volumen de producción nacional es una cifra importante, pero por la cantidad de leche importada, es necesario compararla con otros países. En esta comparación se realiza una simulación del comportamiento del mercado nacional de leche utilizando un modelo de equilibrio parcial que relaciona la dinámica de la oferta, la dinámica de la demanda, la determinación del precio de mercado y el balance de la oferta. Esta a nivel nacional e internacional. El modelo asume tres escenarios: un escenario negativo (la productividad de los proveedores extranjeros aumentará un 29% en promedio durante el

período hasta 2039, mientras que la productividad colombiana aumentará un 15%), un escenario de tendencia y un escenario optimista. Además, el modelo simula la liberalización del comercio internacional de leche, cambios en la productividad y eliminación de aranceles (agropecuaria, 2020)

Considerando la situación del sector lácteo a nivel general; a lo largo del tiempo se han identificado problemáticas como: la generación de residuos líquidos producto del desarrollo de la industria láctea, un déficit en el aprovechamiento en los subproductos generados por el procesamiento de la leche, pérdidas en el potencial de la industria láctea para la producción de prácticas eficientes en la optimización de procesos, generación de malos olores y contaminación por falta de alternativas de tratamiento de los vertimientos.

## **JUSTIFICACIÓN**

El presente documento permite analizar las tecnologías de procesamiento y tratamiento de la leche dentro de cada sector, teniendo en cuenta su uniformidad en cuanto a la forma de producción y uso en las materias primas, también se observa que el subsector beneficiado del queso es quizás el más heterogéneo en cuanto a la utilidad de tecnologías debido a la especificidad de la producción de cada tipo de queso.

El suero lácteo se encuentra típicamente en el suelo o en tanques crudos antes de su reutilización, dando origen a la industria láctea. No producen un rendimiento neto, que está respaldado por residuos y deterioro, pero las pruebas técnicas y científicas podrían identificar y describir el suelo de leche, describiendo el uso principalmente en la industria alimentaria, lo que lleva a la introducción de procedimientos novedosos en los métodos para resalte los ingredientes, el lactato sérico, como lo que está relacionado con el proceso de separación de la membrana. (Motta & Mosquera, 2015)

Asimismo, es importante mencionar que esta revisión bibliográfica pretende determinar las nuevas tecnologías que han sido implementadas en procesos de implementación de productos en industrias lácteas como el queso, yogurt, entre otros derivados de la leche teniendo en cuenta que la producción láctea y su consumo general asociado ha tenido bastante crecimiento económico, pero así mismo se ha incrementado los residuos generados, de acuerdo con Bustos (2009, pág. 130).

## MARCO LEGAL

DECRETOS	LEYES
<b>2437 1983:</b> Se regula parcialmente el artículo 5 de la Ley Novena de 1979 para el procesamiento, producción, transporte y venta de leche.	<b>9 DE 1979</b> En esta ley son dictadas todas las medidas sanitarias.
<b>0616 2006:</b> cuando se expidan reglamentos técnicos sobre requisitos que se deben cumplir la leche para consumo humano que se reciba, procese, envase, transporte, comercialice, importe o exporte en el país.	<b>914 en 2004.</b> Esta ley creó el Sistema Nacional de Identificación e Información Ganadera.
<b>4670 DESDE 2007:</b> Actualmente se modifica transitoriamente el arancel de lácteos en el Arancel de Aduanas.	Ley de Rotulado en lo que son Productos Industriales Manufacturados a partir de la <b>Ley N° 28405, 2004</b> Establece de manera obligatoria lo que son productos industriales manufacturados para su uso o sus consumos finales.

## RESULTADOS

Análisis de datos y resultados de acuerdo a la revisión bibliográfica donde se empleó el motor de búsqueda Scopus, Science Direct y búsquedas adicionales en plataformas de Google Académico para visualizar y contrastar la información relacionada a las tecnologías ambientales para el aprovechamiento de la temática en residuos generados por la industria láctea, podemos resaltar:

Dado que la manufactura láctea utiliza una gran cantidad de agua para procesar las materias primas y mantener las condiciones higiénicas adecuadas, actualmente es una de las actividades rentables más fundamentales del sector alimentario y tiene un impacto negativo significativo en el medio ambiente. De acuerdo con la investigación realizada

por (Tirado Armesto, Gallo García, Acevedo Correa, & Mouthon Bello, 2016), existen tecnologías de tipo end-of-pipe para mitigar los efectos negativos de las altas cargas orgánicas que caracterizan a los efluentes residuales de la industria láctea. Estos autores resaltan a los reactores UASB o RAFA (reactor anaerobio de flujo ascendente) como una tecnología eficiente para el tratamiento de las aguas residuales de la industria lechera, donde se pueden obtener remociones mayores al 80% en parámetros como la DBO y la DQO, donde se destacan sus beneficios en términos de economía, escaza producción de lodos y bajos costos de operación y mantenimiento. Además, identifica otros tipos de biotratamiento tales como la digestión anaeróbica y los lodos activados, donde los subproductos generados se han convertido en una fuente rentable para la producción de energía, que puede abastecer las necesidades al interior de las industrias lecheras. Lo anterior, permite identificar que este tipo de tecnologías incluyen procesos que pueden convertirse en loops de bioprocesos donde la economía circular entra a jugar un rol clave para el aprovechamiento global de los residuos lácteos.

Es necesario mencionar que el mayor gasto de recurso hídrico se debe al proceso de orden y aseo de los equipos establecidos en el sistema de producción. Se agregan al agua varios productos químicos como hidróxido de sodio, ácido fosfórico o nítrico e hipoclorito de sodio para garantizar que cada sistema se desinfecte adecuadamente. De acuerdo con (Arango & Sanches, 2009) las aguas residuales de estos procesos pueden tener concentraciones de desinfectantes, materia orgánica detergentes, bases y sales dependiendo de los agentes químicos empleados en el mismo.

Dentro del sector de tecnologías end-of-pipe, estos autores ratifican la eficiencia de los reactores de tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), donde se presentan procesos como hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, que permiten además de reducir la carga contaminante, producir considerables cantidades de biogás que son de gran utilidad para la producción de energía en las industria lecheras, en especial en aquellas donde la infraestructura es de pequeña a mediana escala. En el estudio realizado por estos autores lograron porcentajes de metano y dióxido de carbono en el biogás generado que oscilaron entre 64 a 55% y entre 25 a 44% respectivamente. Además, es de destacar que en esta tecnología, cuando se presentan mayores reducciones de carga orgánica hubo hasta 4.67 L de biogás/L de reactor con una tasa de producción de metano de 0,27 l  $\text{CH}_4$  /g DQO afluente (Arango & Sanches, 2009). Lo anterior indica

que existe una buena adaptación de la biomasa al sustrato, lo cual es un factor clave a la hora de evaluar la eficiencia de este tipo de bioprocesos.

Algunos autores han estudiado la caracterización y componentes de los efluentes procedentes generados en la industria láctea. (Rosa *et al.*, 2008) Sugiere que las aguas residuales utilizadas para limpiar equipos tienen una composición que incluye concentraciones de sustancias como sales, lactosa, minerales y suspensiones de proteínas coloidales como globulinas. Por otra parte, (Mazzucotelli *et al.*, 2014) establecieron que los efluentes de esta industria son altamente contaminantes debido a que contienen una DBO desde 1000 hasta 6000mg O<sub>2</sub>/L y presentan una relación DBO/DQO de 0,52.

El manejo de estas aguas residuales se ha transformado en uno de los mayores retos, los efluentes de esta industria son difíciles de tratar puesto que contienen moléculas orgánicas complejas como lípidos, proteínas y carbohidratos (Sedaqatvand *et al.*, 2013). Generalmente, los métodos convencionales empleados para el tratamiento de las aguas residuales lácteas son los métodos biológicos y fisicoquímicos, sin embargo, estos últimos se caracterizan por presentar un alto costo (Riera, Suárez, & Muro, 2013). Según lo establecido por (Kushwaha, Mall, & Srivastava, 2010) los métodos biológicos habitualmente utilizados son las lagunas aireadas, lodos activados, manto de lodo anaeróbico, reactor de filtros anaerobios y filtros percoladores.

En cuanto a los métodos de tratamiento fisicoquímicos empleados por la industria láctea, se ha evidenciado que la adsorción es el proceso más usado para lo que es la eliminación de compuestos orgánicos, siendo el carbón activado uno de los agentes adsorbentes más frecuentes. En la investigación llevada a cabo por (Kushwaha, Mall, & Srivastava, 2010) se comprobó la idoneidad de los electrodos de hierro (Fe) para tratar aguas residuales lácteas simuladas (SDW), lo cual hace parte de una nueva gama de tecnologías emergentes para el aprovechamiento de los efluentes lácteos. El estudio demuestra grandes oportunidades para la utilización de residuos como el suero lácteo mediante electrodos de hierro, ya que los lodos y la espuma generados pueden secarse y usarse como combustible en calderas/incineradores, o pueden usarse para la producción de briquetas de combustible; lo que permitiría incursionar en nuevos escenarios para el uso adecuado de estos residuos en las PYMES de países como Colombia.

Por otro lado, una de las alternativas que se ha aplicado para el manejo de estas aguas residuales es el uso de Microorganismos Benéficos (MB) puesto que como lo menciona

(Herrera & Corpas, 2013), estos agentes microbiológicos tienen la capacidad de emplear algunos contaminantes en fuentes de energía para todo lo que es su metabolismo y crecimiento. Algunas bacterias componen la mezcla de MB como lo son *Lactobacillus spp.* Estas se caracterizan por el rendimiento de ácido láctico que ayuda a la distinción de materiales como la celulosa y en la eliminación de microorganismos contaminantes. Dentro de la investigación, los autores encontraron remociones cercanas al 71,65 % para la DQO, 68,58 % para la DBO5, 70,45 % para los sólidos totales y 78,77% para los sólidos suspendidos. En el estudio es claro la importancia de implementar programas de producción más limpia (PML), específicamente para el aprovechamiento del lactosuero generado en el procesamiento, lo que conduciría a una reducción significativa en las cargas contaminantes.

Otro de los géneros empleados en los MB son las bacterias *Saccharomyces spp.*, debido a que los compuestos que forman pueden convertirse en sustratos para bacterias ácido-lácticas (Fioravati *et al.*, 2005). De igual forma, se han utilizado microorganismos eficientes como SCD EM<sup>TM</sup>, el cual corresponde a un cultivo mixto de levaduras, bacterias ácido lácticas, entre otros microorganismos que tiene la capacidad de segregar sustancias como quelatos, vitaminas, minerales y ácido láctico al entrar en contacto con partículas orgánicas, permitiendo así su descomposición (Venkatachalapathy *et al.*, 2007).

Otro proceso alternativo para el manejo de las aguas residuales de este sector son los biorreactores de membrana debido a que generan una mayor biodegradación de contaminantes, un mejor control de sólidos, fácil control de su funcionamiento y una mejor calidad del agua tratada (Farizoglu & Uzuner, 2011). En este estudio se examinó el desempeño del JLMBR (sistema de membrana compacta de alto rendimiento) en el tratamiento de los residuos líquidos generados en la industria lechera como el lactosuero, Los resultados experimentales demostraron que la combinación de un reactor biológico de alta velocidad y filtración por membrana era un proceso eficiente, confiable y compacto para el tratamiento biológico de las aguas residuales. Además, los excelentes resultados de purificación (eliminación de DQO del 96% al 99%) de la combinación JLBR y el sistema UF de membrana cerámica redujeron el costo del tratamiento adicional. Del mismo modo, se destaca la oportunidad de aprovechar los lodos generados para la generación de energía; se encontró que con una concentración excesiva de lodo de 15000 mg /MLSS para una planta de lodos activados y 38000 mg/MLSS para el sistema JLMBR,

el exceso de volumen de lodo de los costos del JLMBR se redujo en aproximadamente un 70 %, lo que se convierte en una enorme ventaja económica.

Además, la tecnología de membrana como la ósmosis inversa y la nanofiltración han sido consideradas métodos prometedores al permitir el aprovechamiento del agua y recuperación de la lactosa y de la proteína (Luo *et al.*, 2011). Se investigó un proceso de ultrafiltración y nanofiltración (UF/NF) de dos etapas para el tratamiento de aguas residuales lácteas modelo para reciclar nutrientes y agua de las aguas residuales. Se encontró que las membranas Ultracel PLGC y NF270 eran las más adecuadas para este propósito. Se observó que las proteínas y los lípidos se concentraron mediante la membrana Ultracel PLGC UF y pudieron usarse para el cultivo de algas para producir biodiesel y biocombustible, y el permeado de UF se concentró mediante la membrana NF270 en la segunda etapa para obtener lactosa en retenido y agua reutilizable en permeado, mientras que el retenido de NF podría reciclarse para digestión anaeróbica para producir biogás. Con este enfoque, la mayor parte de las aguas residuales lácteas podrían reciclarse para producir agua reutilizable y sustratos para la producción de bioenergía, en comparación con el proceso que involucra únicamente una de las dos membranas. Este proceso de UF/NF de dos etapas resulta más aplicable para reciclar aguas residuales lácteas y más eficiente para proporcionar sustratos para la producción de bioenergía a partir de aguas residuales lácteas. Sin embargo, este tipo de filtración requiere de un continuo mantenimiento para evitar la obstrucción de la membrana a causa de partículas que generen el decrecimiento del flujo y el deterioro de la calidad del agua tratada (Luo *et al.*, 2012).

Por otra parte, se ha empleado el tratamiento de los efluentes de la industria láctea por medio de métodos de oxidación avanzada, observada en la investigación realizada por (Agama & Carrera , 2021) en la cual se empleó Fenton, Ozonización y Foto-fenton como procesos de tratamiento a escala laboratorio. Por medio de los resultados del estudio, se pudo establecer que las tasas óptimas de fenton fueron de 84mg/L FeSO<sub>4</sub> y 200mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Para los procesos de ozonificación y UV se establecieron periodos de 120min y 60 min respectivamente. Además, se determinó que la mayor eficiencia se logró con la integración de un tratamiento anaerobio (Eficiencia 32,5%), seguido de un tratamiento biológico (Eficiencia 88,5%) y finalizando con los PAO's (Procesos de Oxidación avanzada) debido a que todo el sistema logró reducir parámetros como la DQO al disminuir su concentración inicial de 16800mg/L a 229 mg/L.

La recuperación de energía a partir de residuos orgánicos en aguas residuales es otra técnica novedosa. Varios autores (Kothari et al., 2012) realizaron varios estudios experimentales con *Chlorella pyrenoidosa* para el procedimiento de aguas residuales lácteas y la producción de biocombustibles. A partir de los resultados obtenidos se pudo observar la reducción de las concentraciones de nitratos (49,09%), nitritos (79,06%), fosfatos (83,23%) y cloruros (60,50%). Se encontró que *C. pyrenoidosa* elimina aproximadamente entre el 80% y el 85% del fósforo y entre el 60% y el 80% del nitrógeno de las aguas residuales lácteas. De manera similar, el uso de especies de microalgas para el tratamiento de aguas residuales lácteas también tiene la capacidad de sostener el crecimiento de microalgas que producen aceites/grasas que pueden usarse para la producción de biodiesel. Por lo tanto, la biomasa proporciona beneficios duales de tratamiento de aguas residuales y producción de petróleo. Aquí es claro este tipo de tecnologías permiten el aprovechamiento de los residuos en productos valiosos para la industria lechera y otras industrias, donde se puede generar un mercado de economía circular bajo loops de generación de bioenergía y bioproductos de interés.

En cuanto al aprovechamiento de cada uno de los subproductos generados en la industria láctea, se han realizado diferentes investigaciones. En la actualidad se emplean diferentes tecnologías para la reutilización de los componentes del lactosuero, el cual es uno de los residuos más representativos de esta industria. Algunos de los procesos empleados es la separación por membrana, hidrólisis, alternativas de tratamiento anaeróbico y aeróbico, electrocoagulación y precipitación del lactosuero por la aplicación de ácido tricloroacético. Los procedimientos de membrana permiten disminuir las cargas contaminantes, de igual forma, generan beneficios económicos a causa de la separación de proteínas y recuperación de agua utilizada en el suero de la leche que puede ser nuevamente empleada en el proceso productivo (Flores Cadena, 2014).

Los principales métodos de membranas que se han empleado son la microfiltración para la disminución del contenido graso del suero y de la población bacteriana, por otra parte está la ultrafiltración la cual se ha empleado especialmente para la normalización de las proteínas para la fabricación de productos como el queso y el yogurt, por último la nanofiltración se ha usado con el fin de lograr la desalinización del lactosuero y así poder obtener concentrados proteicos (Muñi et al., 2005) (Riquelme, 2010)

Autores como (Farias Reyes & García, 2003), analizaron la concentración de lactosa y proteína en el lactosuero mediante la aplicación de la nanofiltración y la ultrafiltración.

Por medio de los resultados obtenidos lograron identificar que los permeados de estos dos procesos contenían 5,47% y 7,31% específicamente en sólidos totales, de los cuales el 70,46% en el proceso de nanofiltración y el 71,13% en el proceso de ultrafiltración, fue lactosa. Del mismo modo, (Muro Urista *et al.*, 2010) establecieron que la nanofiltración permite el restablecimiento entre un 70% hasta un 80% de las proteínas que contiene el lactosuero.

Por otro lado, la hidrólisis enzimática permite transformar las condiciones requerida de gelificación. Una de las características de este proceso es que puede mejorar la estabilidad del producto y aumentar la formación de espuma al incrementar la cantidad de aire (Foegeding & Luck, 2002). (Santana *et al.*, 2008) establece que es factible hidrolizar las proteínas que contiene el lactosuero empleando *Bacillus subtilis* y pancreatina, debido a que se logró un rendimiento de 37,12% en los oligopéptidos obtenidos. Del mismo modo, (Beltrán & Acosta, 2012) afirman que también pueden usarse las enzimas de *Spergillus niger*, *Aspergillus oryzae* y *Kluyveromyces sp* para el proceso de hidrolisis.

Algunos de los productos que han tenido exitosa aceptación en el mercado a causa de su calidad alimenticia y sus bajos costos de producción al emplear la hidrolisis son algunas bebidas alcohólicas, así como bebidas refrescantes (Londoño *et al.*, 2008), derivados de lactosa como queso, mantequilla, nata, leche en polvo, leche evaporada, yogur, entre otros. En la investigación realizada por (Koutinas *et al.*, 2009), se presenta una propuesta de valorización del suero lácteo como subproducto principal de la industria láctea, mediante la producción de novedosos cultivos iniciadores lácteos utilizando suero como materia prima. Los cultivos iniciadores se utilizan para la maduración del queso con el fin de: acelerar la maduración, mejorar la calidad y aumentar la vida útil. La tecnología desarrollada implica la producción de biomasa a partir de suero de leche seguida del secado térmico de los cultivos. Los investigadores identificaron que las levaduras de kéfir en comparación con las levaduras de *Kluyveromyces marxianus* y *Lactobacillus bulgaricus* son más adecuadas para la conversión de lactosa. Esto indica que existe un potencial considerable en lo que esta tecnología ofrece, ya que la posibilidad que existe de comercializar un proceso para la producción y conservación de cultivos iniciadores secos para su uso en una serie de aplicaciones industriales lácteas, como la producción de queso, conduce a una mejor calidad y valor nutricional.

Para la recuperación del ácido láctico y el ácido cítrico por medio de suero lácteo, se han implementado distintos microorganismo eficientes como *Lactobacillus casei* y el

*Apergillus niger* (Leal *et al.*, 2010). En la investigación realizada por (Sanchez Sanchez *et al.*, 2009), se empleó ME (Microorganismos Eficientes) de tipo lactobacilos. Estos microorganismos generaron la separación de dos fases, una fase precipitada en la cual se identificó un incremento de la proteína en un 0,86% a 6,58%. La segunda fase se caracterizó por la disminución de los valores de DQO en un 98%.

Por otro lado, los aislados proteicos que contiene el lactosuero presentan condiciones de gran relevancia. De acuerdo con (Parra , 2009) estos aislados están compuestos entre 4 a 5,5% de agua y un 90% de proteína. A partir de su alta pureza, estos subproductos han sido empleados en las bebidas deportivas y en diferentes suplementos alimenticios (Motta Correa & Mosquera, 2015). De igual modo, la aplicación de agentes complejos como celulosa, carboxy-metil u óxidos inorgánicos, permiten enlazar de mejor manera la proteína que contiene el lactosuero (Zadow, , 2003).

Finalmente, es de mencionar las posibilidades de aprovechamiento del suero lácteo en bioproductos como los bioplásticos. Algunas investigaciones como la de ( Khatatab, Esmael, Farrag, & Ibrahim, 2021) demuestran que la valorización de la lactosa de suero para la producción de PHA (polihidroxicanoatos) reducen drásticamente los costos de producción de PHA en aproximadamente un 50% y por tanto se está ante una gran oportunidad de explorar fuentes alternativas dentro del mercado emergente de los bioplásticos a nivel nacional y mundial.

En la investigación realizada por estos autores, se analizó la naturaleza química, la pureza, las propiedades térmicas, el análisis elemental y la morfología del polihidroxibutirato (PHB) producido mediante técnicas como FTIR, RMN, GC-MS, DSC, SEM y EDX, confirmando la viabilidad del uso de *B. flexus*. Azu-A2 para la producción de (PHB) en forma pura y de alto rendimiento a partir de suero lácteo.

La investigación y los estudios sobre bioplásticos ahora pueden avanzar gradualmente en la dirección de la viabilidad industrial mientras se mantiene un enfoque en la búsqueda de los métodos de producción más efectivos y eficientes, así como en cerrar la brecha en el rendimiento mecánico con los plásticos derivados del petróleo y explorar aplicaciones más innovadoras lo anterior, se justifica por la razón que uno de los productos que se pueden obtener del lactosuero son los bioplásticos.

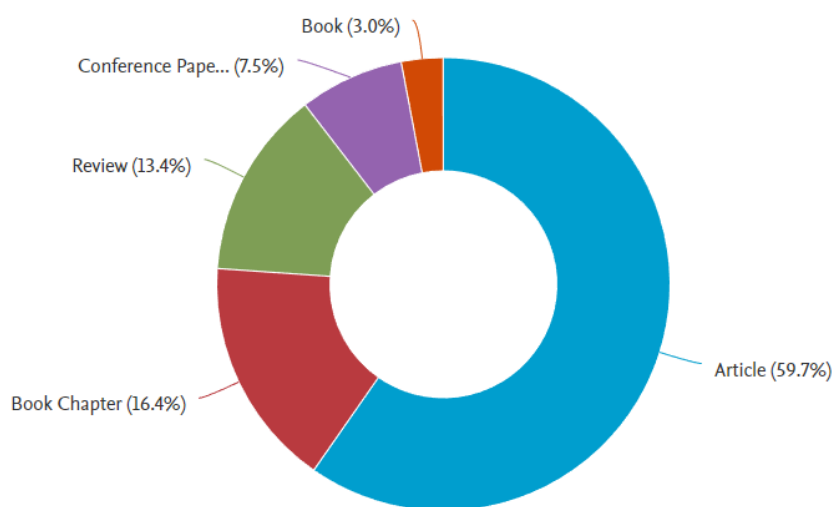
**Análisis de datos en Scopus:**

Teniendo en cuenta que, para este documento, se empleó un estudio a partir de revisión bibliográfica podemos encontrar:

En la figura 1. Se puede observar la relación existente entre los diversos tipos en los que se relacionan los artículos o documentos encontrados para esta revisión.

Figura 1. Documentos por tipo

Documents by type



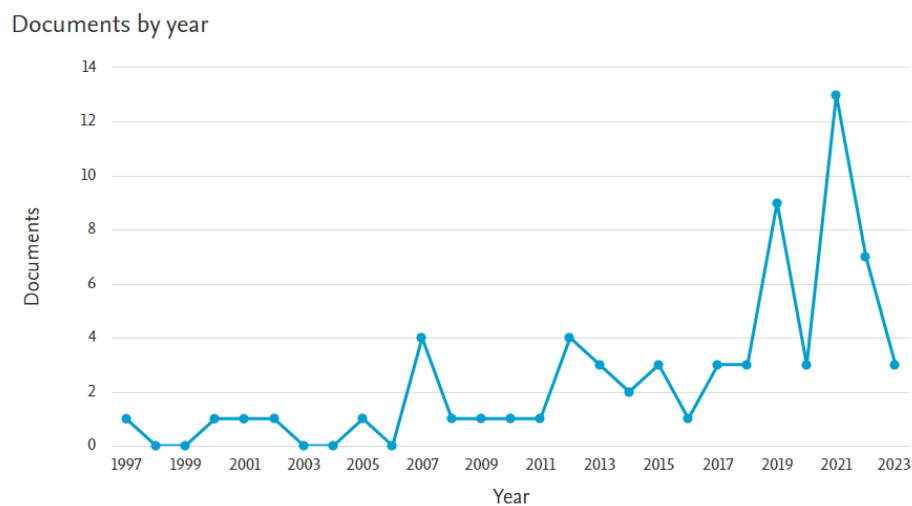
Fuente: Scopus

A partir del gráfico, es claro que la mayoría de los documentos eran de tipo artículos de investigación con un 59,7%. Lo anterior, se evidenció claramente a lo largo de la búsqueda, ya que gran parte de los resultados obtenidos se realizan en laboratorios de universidades a lo largo del globo; mediante los artículos de investigación es más sencillo presentar los hallazgos de los estudios, de una forma concreta y clara para el lector, alcanzado una mayor audiencia en la comunidad científica. Seguido a los artículos, en segundo lugar, se encuentran los capítulos de libros con un 16,4%, un porcentaje muy inferior en comparación con los artículos, pero que aún así representa un grueso importante dentro del porcentaje global. Estas investigaciones hacen parte de un conglomerado de estudios que tienen en común el mismo objetivo, y por tanto se agrupan en un libro académico, donde la extensión y profundidad de los hallazgos son presentados con mayor detalle.

Las últimas 3 categorías se presentaron en los formatos de artículos de revisión con un 13,4%, memoria de conferencia científica (7,5%) y libros con tan solo el 3%. Se encontró que los artículos de revisión fueron de gran utilidad para el desarrollo de la investigación puesto que estos permiten tener una mirada general a un tema concreto, abarcando distintos estudios de diferentes autores y así tener mayores insumos para encaminar el objetivo del estudio. Las memorias de conferencia científica a pesar de tener un bajo porcentaje son un insumo importante, ya que últimamente este tópico de investigación ha venido creciendo exponencialmente, como se abarca más adelante, y existen diferentes congresos científicos donde los resultados de estas investigaciones son presentados. De esta manera se relacionan los documentos en diferentes formatos que contribuyen dentro de los aspectos de tecnologías aplicables en la industria láctea.

A continuación, en la Figura 2, se puede observar el avance en las investigaciones sobre los temas relacionados a las palabras clave del documento en cuestión “**technologies applied in the dairy sector**”. Denotando una gráfica lineal en la cual se hace evidente la tendencia de los documentos en el tiempo.

Figura 2. Documentos por año

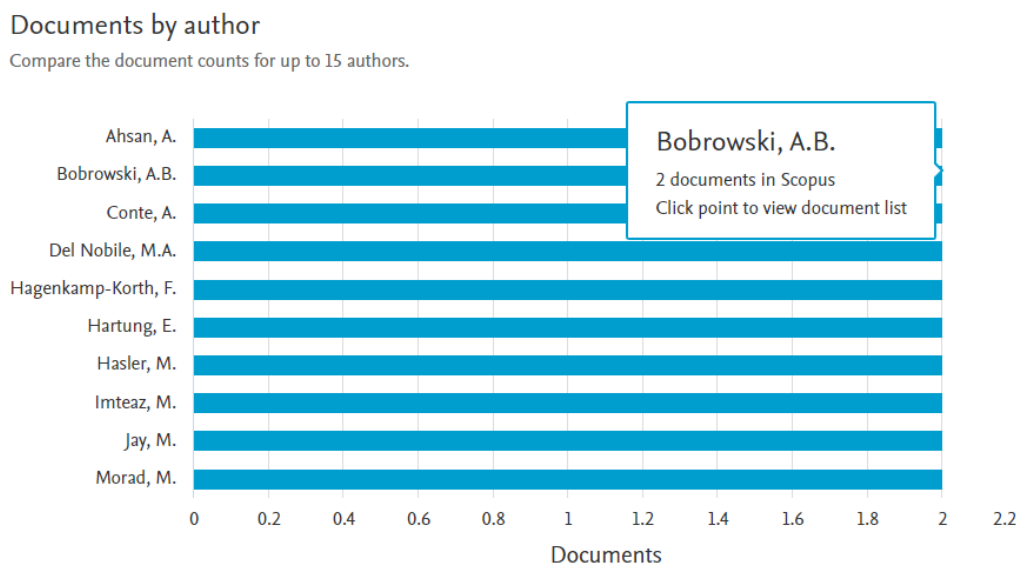


Fuente: Scopus

Los resultados demostraron un avance en el número de documentos que han sido publicados por año, es decir que, en el año 1997 hasta 2007 se maneja un rango mínimo de publicaciones, a partir de este año empieza a subir donde en el año 2018 a 2023 se muestra un incremento en número de publicaciones.

Observando como al pasar el tiempo, el número de publicaciones crece a causa de las necesidades humanas, es decir, de acuerdo a los aportes hacia las tecnologías aplicadas en la industria láctea, día a día en base a nuevas producciones de productos derivados de la leche se presentan más necesidades y adversidades. Las necesidades vienen enmarcadas en gran parte por el objetivo que tienen los gobiernos de alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Esta agenda se basa en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), dentro de los cuales muchos de estos giran en torno a una gestión sostenible de todas las formas de residuos a lo largo de su ciclo de vida, la reducción de emisiones a la aire, agua y suelo, y disminución de la generación de residuos con una mayor proporción de reciclaje y reutilización. Es así como el aprovechamiento del lactosuero para el desarrollo de productos de valor agregado, como suero en polvo, alimentos y bebidas funcionales, ácido láctico, bioetanol, bioplásticos, biogás, entre otros, podría contribuir al cumplimiento de la de los ODS 6: Agua limpia y saneamiento, ODS 9: Industria, innovación e infraestructura y ODS 12: Producción y consumo responsables y sus subobjetivos: mejora de la calidad del agua, mejora de la sostenibilidad de la infraestructura, mitigación global de desperdicios y pérdidas de alimentos, y reducción de la generación de desperdicios.

Figura 3. Documentos por autor



Fuente: Scopus

En lo que respecta, durante el periodo de estudio, cada uno de los autores mantiene un mismo rango en la publicación de artículos, de acuerdo a lo observado en la figura. Donde

el tema o foco de estos autores es promover sus conocimientos en pro de tecnologías de aprovechamiento para los residuos de la industria láctea. Se identifica que la mayoría de estos autores realizaron sus investigaciones en países de medio oriente y de Asia del este, con muy poca representación de autores latinoamericanos, por tanto, se está ante una ausencia de proyectos investigativos en países subdesarrollados como Colombia. A pesar de los esfuerzos por aumentar los recursos para este tipo de investigación, es indispensable una mayor presencia de la académica en la industria, con un incentivo económico proveniente de las organizaciones gubernamentales e institucionales del Estado Colombiano, y de este modo no solamente abarcar el problema de la contaminación por efluentes residuales sino también expandir las oportunidades de conversión de restos residuos en subproductos de valor agregados que sean de interés para otras industrias.

## **CONCLUSIONES**

Partiendo de que la tecnología requiere una mayor producción y eficiencia en el proceso, se puede suponer que su aplicación en el campo y en el propio sector lácteo, traerá consigo una rebaja de los costos de producción, y así mismo un aumento en las ganancias brindando las ventajas de la leche cruda en mayor calidad, además de posicionar al sector agropecuario como un motor de crecimiento regional y reducir el impacto ambiental generado a lo largo del tiempo por los residuos que produce y su mal uso.

En ciertos países se presenta una alternativa más ecológica con respecto al consumo eléctrico de este sector, aprovechando la luz solar para realizar una agricultura que sea sostenible con el medio ambiente, además de utilizar estrategias y alternativas como estas donde la adopción de buenas prácticas agrícolas incrementa la productividad del sector lácteo.

El suero es un excelente punto de partida para crear una variedad de productos técnicos o para usar en procesos enzimáticos. Pese a que el problema emergente de la contaminación, hay una gran cantidad de productos que se logran conseguir. Entre estos productos se encuentran los ácidos productos orgánicos, productos horneados, bebidas deportivas, licores, bebidas fermentadas, entre otros, además, las proteínas de suero contienen propiedades funcionales, les permiten ser de gran utilidad en el campo de la nutrición.

Es importante manejar este tipo de trabajos en base a revisiones bibliográficas ya que se obtiene información más clara y concisa de las temáticas adoptadas, en este caso

tecnologías que se han aplicado en la industria láctea, determinando que a lo largo del tiempo según los resultados de búsqueda en los últimos años es donde más se reflejan investigaciones e implementaciones de nuevos métodos para la mejoría y disminución de impactos ambientales que han sido provocados.

Entre las técnicas más relevantes teniendo en cuenta que los procesos de membrana permiten disminuir las cargas contaminantes han sido aplicadas la microfiltración la cual se ha utilizado principalmente para la disminución del contenido graso del suero y de la población bacteriana, así mismo se encuentra la ultrafiltración que se ha empleado especialmente para la normalización de las proteínas y la elaboración de productos como el queso y el yogurt, por último la nanofiltración que tiene como fin lograr la desalinización del lactosuero y así poder obtener concentrados proteicos, adicionando que en nanofiltración permite la recuperación entre un 70 por ciento hasta un 80 por ciento de las proteínas que contiene el lactosuero.

El aprovechamiento industrial del lactosuero ha dado lugar al desarrollo de nuevas tecnologías y procesos para su procesamiento y transformación en productos de valor agregado. Se han establecido plantas de producción que se dedican específicamente a la recuperación y procesamiento del lactosuero, utilizando métodos como la filtración, la evaporación y la cristalización. Esto ha permitido la creación de un mercado creciente de productos derivados del lactosuero, contribuyendo a la economía y generando empleo en el sector alimentario. En síntesis, el aprovechamiento industrial del lactosuero no solo es beneficioso desde el punto de vista ambiental, sino que también presenta oportunidades económicas para las empresas del sector lácteo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Agama , M., & Carrera , B. (2021). *Tratamiento de las aguas residuales procedentes de la industria láctea por medio de los métodos de oxidación avanzada heterógeneos de Fenton, Ozonización y Foto-fenton a escalas de laboratorio*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Arango, O., & Sanches, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 24-31.

- Beltrán, L., & Acosta, A. (2012). Empleo de una  $\beta$ -galactosidasa comercial de *Kluyveromyces lactis* en la hidrólisis de lactosuero. *Hechos Microbiol*, 25-35.
- Farias Reyes, J., & García, A. (2003). Eficiencia en la concentración de la proteína del lactosuero con una planta móvil de ultrafiltración y nanofiltración. *Revista Científica FCV-LUZ*, 347-351.
- Farizoglu, B., & Uzuner, S. (2011). The investigation of dairy industry wastewater treatment in a biological high performance membrane system. *Biochemical Engineering Journal*, 46-54.
- Fioravati, M., Vega, C., Hernández, C., Yeomans, J., & Okumoto, S. (2005). Eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su uso agrícola. *Revista Tierra Tropical*, 69-76.
- Flores Cadena, C. A. (2014). *Obtención de una bebida láctea a partir del concentrado proteico de la mazada o suero de la mantequilla por medio de tecnología de membranas*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Foegeding, E., & Luck, P. (2002). *Encyclopedia of Foods Sciences and Nutrition*. New York: Academic Press.
- Herrera, O., & Corpas, E. (2013). Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 57-67.
- Khattab, A., Esmael, M., Farrag, A., & Ibrahim, M. (2021). Structural assessment of the bioplastic (poly-3-hydroxybutyrate) produced by *Bacillus flexus* Azu-A2 through cheese whey valorization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 319-332.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.090>
- Kothari, R., Pathak, V., Kumar, V., & Singh, D. (2012). Experimental study for growth potential of unicellular alga *Chlorella pyrenoidosa* on dairy waste water: An integrated approach for treatment and biofuel production. *Bioresource technology*, 466-470.
- Koutinas, A., Papapostolou, D., Dimitrellou, N., Kopsahelis, E., Katechaki, A., & Bekatorou. (2009). Whey valorisation: A complete and novel technology

development for dairy industry starter culture production. *Bioresource Technology*, 3734-3739.

- Kushwaha, J., Mall, I., & Srivastava, V. (2010). Organics removal from dairy wastewater by electrochemical treatment and residue disposal. *Separation and Purification Technology*, 198-205.
- Leal, D., Pico, Y., Castro, J., Guerra, J., & Castro, G. (2010). Producción de ácido cítrico a partir del suero lácteo entero e hidrolizado con *Aspergillus niger*, por vía fermentativa. *Alimentos*.
- Londoño, M., Sepúlveda, J., Hernández, A., & Parra, J. (2008). Bebida fermentada de suero de queso fresco inoculada con *Lactobacillus casei*. *Revista Facultad Nacional Agronomía Medellín*, 4409-4421.
- Luo, J., Ding, L., Wan, Y., Paullier, P., & Jaffrin, M. (2012). Fouling behavior of dairy wastewater treatment by nanofiltration under shear-enhanced extreme hydraulic conditions. *Separation and Purification Technology*, 79-86.
- Luo, J., Ding, L., Qi, B., Jaffrin, M., & Wan, Y. (2011). A two-stage ultrafiltration and nanofiltration process for recycling dairy wastewater. *Bioresource Technology*, 7437-7442.
- Mazzucotelli, C., Durruty, I., Kotlar, C., Moreira, M., Ponce, A., & Roura, S. (2014). Development of a microbial consortium for dairy wastewater treatment. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 221-230.
- Motta Correa, Y., & Mosquera, W. (2015). Aprovechamiento del lactosuero y sus componentes como materia prima en la industria de alimentos. *@LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA*, 81-91.
- Muñi, A., Paez, J., Faría, J., Ramones, E., & Ferrer, J. (2005). Eficiencia de un sistema de ultrafiltración/nanofiltración tangencial en serie para el fraccionamiento y concentración del lactosuero. *Revista Científica*, 361-367.
- Muro Urista, C., Díaz Nava, C., García Gaitán, B., Zavala Arce, R., Ortega Aguilar, R., Álvarez Fernández, R., & Riera Rodríguez, F. (2010). Recuperación del lactosuero residual de una industria elaboradora de queso utilizando membranas. *Afinidad*, 212-220.

- Parra , R. (2009). Importance in the food industry. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 4967-4982.
- Riera, F., Suárez, A., & Muro, C. (2013). Nanofiltration of UHT flash cooler condensates from a dairy factory: Characterisation and water reuse potential. *Desalination*, 52-63.
- Riquelme, G. (2010). *Desarrollo por ultrafiltración de un concentrado proteico a partir de lactosuero*. Bogotá: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia.
- Rosa, M., Peralta, J., Gilli, D., & Bosco, D. (2008). Cinética de la biodegradación de un efluente lácteo: aplicación de técnicas de análisis de datos para la comparación de modelos. *Información Tecnológica*, 11-18.
- Sanchez Sanchez, G., Gil Garzón, M., Giraldo Rojas, F., Millán Cardona, L., & Villada Ramirez, M. (2009). Aprovechamiento del suero lácteo de una empresa del norte antioqueño mediante microorganismos eficientes. *Producción + limpia*, 65-74.
- Santana, M., Rolim, R., Carreiras, W., Oliveira, V., Medeiros , & Pinto. (2008). Obtainingoligopeptides from whey: Use of subtilisin and pancreatin. *American Journal of Food Technology*, 315-324.
- Sedaqatvand, R., Esfahany, M., Behzad, T., Mohseni , M., & Mardanpour, M. (2013). Parameter estimation and characterization of a single-chamber microbial fuel cell for dairy wastewater treatment. *Bioresource technology*, 247-253.
- Tirado Armesto, D., Gallo García, L., Acevedo Correa, D., & Mouthon Bello, J. (2016). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. *Producción + Limpia*, 171-184.
- Venkatachalapathy, S., Rajagopal, K., Karutha, P., & Shunmugiah, T. (2007). Cost-effective activated ludge process using Effective Microorganisms (EM). *Environmental health*, 71-83.
- Zadow, , J. (2003). *Protein concentrates and fractions*. New York: Encyclopedia of Food Science and Technology.

