

**ESTUDIO ANALÍTICO, CARACTERÍSTICO Y APLICATIVO DE  
PROCESOS INNOVADORES PARA DAR VALOR AGREGADO AL  
LACTOSUERO EN COLOMBIA**

**(Autor)**

**ROBERTH MAURICIO OBREGON TABORDA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y  
QUÍMICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**PAMPLONA, julio 08 de 2021**

**ESTUDIO ANALÍTICO, CARACTERÍSTICO Y APLICATIVO DE  
PROCESOS INNOVADORES PARA DAR VALOR AGREGADO AL  
LACTOSUERO EN COLOMBIA**

**(Autor) ROBERTH MAURICIO OBREGON TABORDA**

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de  
INGENIER(A)O QUÍMIC(A)O**

**Director: ANA MARIA ROSSO CERON**

Profesora-Doctora en Ingeniería Química

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y  
QUÍMICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**Pamplona, julio 08 de 2021**

## Dedicatoria

Dedico esta monografía a mi madre, padre junto al resto de mi familia, y, que los futuros lectores tengan una información de su interés.

## **AGRADECIMIENTOS**

La culminación de esta monografía es gracias a la Universidad de Pamplona por sus conocimientos que adquirí durante la estancia, a mi familia por apoyarme y la directora de la monografía.

## TABLA DE CONTENIDO

1. Resumen .....	8
1.1 Palabras claves .....	8
2. Introducción.....	9
3. Planteamiento del problema y justificación.....	10
4. Objetivos.....	11
4.1 Objetivo general .....	11
4.2 Objetivos específicos.....	11
5. Metodología.....	11
6. Conceptos generales del Lactosuero.....	12
6.1 Lactosa .....	12
6.2 Principales proteínas del lactosuero .....	13
6.2.1 $\beta$ - Lactoglobulina ( $\beta$ -Lg) .....	13
6.2.2 $\alpha$ - Lactoalbúmina ( $\alpha$ -La).....	14
6.2.3 Albúmina sérica .....	14
6.2.4 Inmunoglobulinas .....	15
6.2.5 Lactoferrinas .....	15
6.2.6 Lactoperoxidasa .....	16
6.3 Clasificación del lactosuero .....	16
6.3.1 Lactosuero ácido .....	16
6.3.2 Lactosuero dulce .....	17
7. Sectores colombianos que tienen aplicación el lactosuero.....	17
7.1 Empresas generadoras de lactosuero en Colombia .....	17
7.2 Manejo de residuos del lactosuero en Colombia.....	18
7.3 Aplicaciones del lactosuero en distintos sectores .....	18
7.3.1 Sector alimenticio .....	19

7.3.1.1	Suplementos alimenticios .....	19
7.3.1.2	Efecto antiinflamatorio .....	19
7.3.1.3	Efecto antimicrobiano.....	19
7.3.1.4	Efecto antioxidante .....	19
7.3.2	Sector energético.....	20
7.3.2.1	Producción de hidrógeno a partir del lactosuero .....	20
7.3.2.2	Producción de bioetanol a partir del lactosuero.....	21
7.3.2.3	Producción de metano a partir del lactosuero.....	21
7.3.2.4	Integración de los procesos energéticos .....	21
7.3.3	Sector farmacéutico .....	24
7.3.3.1	Tratamiento del cáncer .....	24
7.3.3.2	Tratamiento para la salud inmunológica .....	24
7.3.3.3	Tratamiento para el control de peso .....	24
7.3.3.4	Tratamiento para la osteoporosis .....	25
7.3.3.5	Tratamiento para el estrés y salud mental .....	25
7.4	Productos derivados lactosuero .....	25
8.	procesos de transformación del lactosuero según el sector .....	26
8.1	Sector alimenticio.....	26
8.1.1	Proceso de recuperación de finos de caseína y separación de la grasa.....	26
8.1.2	Concentración de sólidos totales y fraccionamiento de sólidos totales .....	27
8.1.3	Desengrasado del concentrado de proteína del lactosuero (CPS).....	27
8.1.4	Recuperación de las proteínas desnaturalizadas del lactosuero .....	28
8.1.5	Recuperación de la lactosa.....	29
8.1.6	Desmineralización (Desalinización) .....	29
8.1.7	Procesos de intercambio iónico para desmineralización .....	30
8.1.8	Un proceso de intercambio iónico alternativo .....	30
8.1.9	Hidrólisis de la lactosa .....	31

8.2	Sector energético .....	32
8.3	Sector farmacéutico.....	32
9.	Comparación de los procesos de implementación del lactosuero .....	34
9.1	Importancia del lactosuero .....	34
10.	Conclusiones .....	38
11.	Recomendaciones .....	38
12.	Referencias bibliográficas.....	39

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del lactosuero ácido y dulce. ....	16
Tabla 2. Combinación de al menos dos procesos químicos o biológicos para la recuperación de energía o recursos a partir de sustratos basados en CW. ....	22
Tabla 3. Comparación de los procesos teniendo en cuenta los aspectos tecnológicos, económicos, ambientales y sociales.....	36



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la lactosa en las configuraciones $\alpha$ y $\beta$ .	12
Figura 2. Proporción de proteínas individuales en proteínas de suero derivadas de lactosuero ácido y dulce (queso).	13
Figura 3. Vías de fermentación de lactosa más comunes de microorganismos autóctonos de CW.	20
Figura 4. Separación de finos y grasa del lactosuero.	27
Figura 5. Proceso de recuperación de un concentrado deshidratado de proteína utilizando la UF.	27
Figura 6. Proceso para desengrasado del retentato de seroproteínas.	28
Figura 7. Recuperación de seroproteínas desnaturalizadas.	28
Figura 8. Línea de proceso para la fabricación de lactosa.	29
Figura 9. Paquete de células de electrodiálisis.	30
Figura 10. Planta de desmineralización de lactosuero de queso mediante intercambio iónico clásico.	30
Figura 11. Diagrama de flujo de una planta de gran capacidad de producción para desmineralización de lactosuero en polvo (A: intercambiador aniónico y C: intercambiador catiónico).	31
Figura 12. Planta de hidrólisis enzimática de la lactosa de lactosuero.	31
Figura 13. Descripción esquemática de la planta utilizada para procesos de digestión anaeróbica de una y dos etapas.	32
Figura 14. Procesamiento de los principales productos del lactosuero y proteína del lactosuero.	33
Figura 15. Diagrama de bloques del proceso de aislamiento de lactoperoxidasa (LP) y lactoferrina (LF) del lactosuero.	34

## ABREVIATURAS

**CW:** Lactosuero

**W:** Lactosuero

**WP:** Proteína del lactosuero

**WPC:** Concentrados de proteína de lactosuero

**WPI:** Aislado de proteína de lactosuero

**FA:** Ácidos grasos

**$\beta$ -Lg:**  $\beta$ -lactoglobulina

**$\alpha$ -La:**  $\alpha$ -lactoalbúmina

**SA:** Albúmina sérica

**BSA:** Albúmina sérica bovina

**Ig:** Inmunoglobinas

**Lf:** Lactoferrina

**DBO:** Demanda biológica de oxígeno

**DQO:** Demanda química de oxígeno

**UHT:** Ultrapasteurización o uperización

**PM:** Peso molecular

**AFBR:** Reactor de lecho fluidizado anaeróbico

**ASTBR:** Reactor anaeróbico de lecho estructurado

**CSTR:** Reactor de tanque con agitación continua

**PBR:** Reactor de lecho empacado

**SBR:** Reactor secuencial por lotes

**UASB:** Reactor de mando de lodos anaeróbicos de flujo ascendente

**PABR:** Reactor anaeróbico periódico con deflectores

**UFAB:** Filtro anaeróbico de flujo ascendente

**FBR:** Reactor de lecho fluidizado

**DA:** Digestión anaeróbica

**DF:** Fermentación oscura

**TRL:** Nivel de preparación tecnológica

**PLA:** Ácido poliláctico

**PHA:** Ácido polihidroxialcanoatos

**MET:** Tecnologías electroquímicas microbianas

**MFC:** Celdas de combustible microbianas

**MET:** Celdas de electrólisis microbiana

## GLOSARIO

**UTH:** es una serie integrada de procesos unitarios que transforma un producto no estéril como la leche cruda en un producto envasado comercialmente estéril que es estable a temperatura ambiente durante varios meses (H. C. Deeth & Lewis, 2017).

**PLA:** El PLA es un biopolímero versátil que se utiliza en una amplia gama de sectores industriales, como el envasado de alimentos, textil, agricultura, electrónica, transporte, así como en el campo biomédico (Sato, et al., 2008).

**PHA:** Los PHA son poliésteres producidos a partir de sustratos orgánicos por varios microorganismos, que los acumulan en el interior de la célula con fines de almacenamiento de energía (Asunis, et al., 2020b).

# **1. RESUMEN**

Esta monografía presenta el estudio de revisión del lactosuero, con el fin de darle un valor agregado en Colombia. Se dividió varias secciones, primero, conceptos generales del lactosuero, segundo, aplicaciones del lactosuero, y finalmente la comparación de estos procesos. Los conceptos generales del lactosuero nos dan la información sobre las proteínas del lactosuero y la clasificación del mismo, las aplicaciones del lactosuero se ven en varios sectores de la industria, como: Alimenticio, farmacéutico y energético, la comparación del lactosuero se hace entre las distintas tecnologías aplicadas al tratamiento del mismo, siendo recomendable los procesos integrados para ser aplicable en Colombia.

## **1.1 PALABRAS CLAVES**

Lactosuero, proteínas del lactosuero, sectores, tecnologías, características.

## 2. INTRODUCCIÓN

El lactosuero se obtiene de la producción del queso o caseína y representa el 85-95% de la leche, las especies que producen el lactosuero pueden ser diferentes: bovinos, ovinos, caprinos y búfalos, entre otros, estas especies producen lactosuero con una cantidad en volumen (l/l) de: 0,85-0,90 (vaca), 0,85-0,90 (oveja), 0,85-0,90 (cabra) respectivamente (Carvalho, *et al.*, 2013). El lactosuero principalmente se produce de especies bovinas, estas representan el 20% de las proteínas que contiene el lactosuero (Maciel, *et al.*, 2020).

La eliminación del lactosuero sin el tratamiento adecuado plantea serios problemas que generan contaminación para el medio ambiente, en consecuencia, se tienen altas demandas de oxígeno (DBO), con cantidades biológicas de 30.000–50.000 mg/l y químicas (DQO) de 60.000–80.000 mg/l (Macwan, *et al.*, 2016).

Varias investigaciones y sectores de la industria implementan formas de darle un valor agregado al lactosuero, produciendo productos con un valor alimenticio, energético y farmacéutico. La implementación de estos procesos en Colombia es viable porque controla la contaminación y el mal manejo que se les dan a los residuos de la industria láctea, un ejemplo es en el mes de septiembre de 2018, donde se produjo 33 toneladas de lactosuero de las 4.026 toneladas de la industria láctea. El lactosuero es una materia prima buena para las industrias ya que es de fácil acceso y existen en la actualidad diferentes tratamientos que se pueden aprovechar (Asunis, *et al.*, 2020b).

El presente trabajo refleja una investigación bibliográfica que muestra la actualidad de la industrial del lactosuero en Colombia y las posibles aplicaciones, se desarrolla a través de 4 sesiones iniciando con las generalidades del lactosuero, seguida de las potenciales aplicaciones, después la caracterización de estos procesos y por último, la comparación de los procesos descritos con el fin de comparar y determinar bajo criterios económicos, tecnológicos y ambientales, cuales serían el aprovechamiento del lactosuero en Colombia.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En Colombia aproximadamente el 75% del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada como lactosuero, el lactosuero retiene el ~55% del total de ingredientes de la leche, adicionalmente, los efluentes lácteos tienen la característica de tener una alta carga orgánica, que representa un grave peligro para el medio ambiente (Díaz, 2019). Según *FEDEGAN*, (2019) la producción de leche en Colombia para el año 2019 fue de 7.301 millones de litros, donde las mayores zonas de producción fueron en el trópico, por ejemplo, Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Nariño. La industria láctea produce un promedio de 2,5 litros de aguas residuales por litro de leche procesada, para la producción de 1 kilogramo de queso se necesita 9 - 10 litros de leche (Asunis, et al., 2020a).

Una problemática asociada, los residuos del lactosuero no tienen una correcta disposición, ya que por lo general no tienen un buen manejo y control de los procesos de producción de quesos. La contaminación del agua es, quizás, el problema más relevante que causan dicho residuo, ya que es donde más se desecha, vertiéndolo sin ningún tratamiento (Asunis, et al., 2020a).

Esto se debe a la falta de información que se tiene de este producto, ya que no se le valoriza de manera adecuada. Según *Asunis, et al.*, (2020), el lactosuero puede contribuir con la producción de hidrogeno y metano, la producción de bioetanol, la producción de biopolímeros, además para la misma industria quesera ya que en Colombia según INVIMA se importaron aproximadamente 12.134 toneladas de lactosuero en el 2018 (Díaz, 2019) y para el 2019 de 10.451 toneladas (SIOC, 2019).

Se indica, que el uso de lactosuero es permitido por la autoridad sanitaria de Colombia en la resolución 2997 del 3 de septiembre de 2007 del ministerio de protección, en el cual se establecen los reglamentos técnicos. Lo que es beneficioso para las industrias colombianas como es en los casos de la industria de alimentos, farmacéutica, pecuaria entre otros, ya que se puede utilizar de manera correcta (Díaz, 2019).

Por consiguiente, con la presente monografía se propone realizar un estudio bibliográfico, analítico y aplicativo de procesos innovadores para implementar y dar valor agregado al lactosuero en Colombia y se plantean los siguientes objetivos (Asunis, et al., 2020a).

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un análisis de los procesos innovadores para implementar y dar valor agregado al lactosuero en Colombia.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir en qué sectores colombianos tiene aplicación el lactosuero.
- Determinar los procesos químicos, biológicos y físicos para el uso del lactosuero en distintas industrias colombianas.
- Comparar los procesos más promisorios para dar valor agregado al lactosuero considerando criterios económicos, ambientales y tecnológicos.

## **5. METODOLOGÍA**

Se realizaron varias consultas para una revisión bibliográfica del lactosuero, su búsqueda se realizó usando la base de datos del campus de la Universidad de Pamplona (ScienceDirect, Scopus), Google Académico, entre otras, a través de palabras claves de búsqueda referentes al lactosuero, uso, producción y aplicaciones del lactosuero.

Las actividades se dividieron en partes, inicialmente en la búsqueda de artículos, libros, tesis, documentos y páginas web con palabras claves en idioma inglés y español, con el uso de la base de datos de la Universidad, seguidamente se delimita la información para dar resultados a los objetivos de investigación que se plantearon. Para el manejo de las referencias se utilizó el software Mendeley Desktop con normas APA 7 edición, este software es una versión libre, cumpliendo con la normativa y dando al documento presente una mayor legibilidad. Los documentos o páginas web resultado de la búsqueda se examinaron, y esta información se correlacionó con los objetivos propuestos; posteriormente, los artículos y demás documentos identificados seleccionados como relevantes se analizaron con profundidad. La última actividad consistió en la redacción del documento, se dividió en 4 secciones, primero, conceptos generales del lactosuero, aplicaciones del lactosuero, la caracterización de sus procesos y finalmente la comparación de estos procesos.



## 6. CONCEPTOS GENERALES DEL LACTOSUERO

El lactosuero es producido en el momento de fabricación del queso o caseína. Es un líquido residual de la coagulación con cuajo o ácido dependiendo el tratamiento. Su contenido de sólidos totales comparado con la leche es la mitad (~6,5% en peso), también contiene ~20% de la proteína láctea total. Con respecto a los sólidos de la leche, la lactosa contiene ~75% y la proteína cruda ~13%. En cuanto a los componentes que contienen el nitrógeno, incluyen proteínas solubles, o mejor conocidas como proteínas del lactosuero, la mayoría del lactosuero se desnaturalizan mediante tratamientos térmicos a más de ~65 °C, y nitrógeno no proteico, como péptidos pequeños, amoníaco y urea. Las principales proteínas del lactosuero son de gran valor debido a sus funcionalidades tanto físicas y fisiológicas. Los demás sólidos del lactosuero son minerales, ácidos orgánicos, grasa de la leche (rica en fosfolípidos) y varios componentes de menor importancia (Price, 2018). La descripción de las características químicas, biológicas y físicas de los tipos de lactosuero y sus proteínas se verán a continuación, también se hablará de su importancia.

### 6.1 LACTOSA

La lactosa representa el ~ 98% del lactosuero, así como, agua de la leche el 90%, ~ 25% de proteína y ~ 50% de sales inorgánicas (Fox, et al., 2016). La lactosa (4-O-β-galactopiranosil-D-glucopiranososa, C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) es un disacárido que comprende una molécula de glucosa ligada a una molécula de galactosa por un enlace β (1,4). Las formas α y β se observan en la figura 1, estas formas están presentes en soluciones acuosas de la lactosa. El contenido de sólidos presentes en la leche de vaca, está en mayor cantidad para la lactosa (Gómez Soto & Sánchez Toro, 2019).

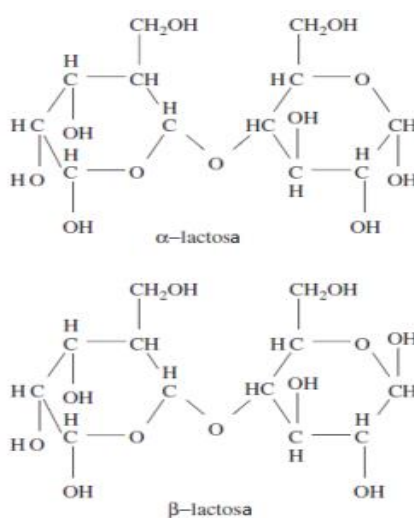


Figura 1. Estructura de la lactosa en las configuraciones  $\alpha$  y  $\beta$ .

Fuente: (Gómez Soto & Sánchez Toro, 2019).

La producción de lactosa se debe a la concentración del lactosuero con un 50-60% de sólidos totales, sembrando con cristales de lactosa y recuperando los cristales por centrifugación o filtración (Fox et al., 2016).

## 6.2 PRINCIPALES PROTEÍNAS DEL LACTOSUERO

Las principales proteínas del lactosuero son la  $\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -Lg), la  $\alpha$ -lactoalbúmina ( $\alpha$ -La) la albúmina sérica (5%), y, en menores cantidades, las inmunoglobulinas (13%), la lactoferrina (3%) entre otras (Gómez Soto & Sánchez Toro, 2019). En la figura 2 se muestran algunos porcentajes para los dos tipos de lactosuero (Patel, H., & Patel, S, 2015).

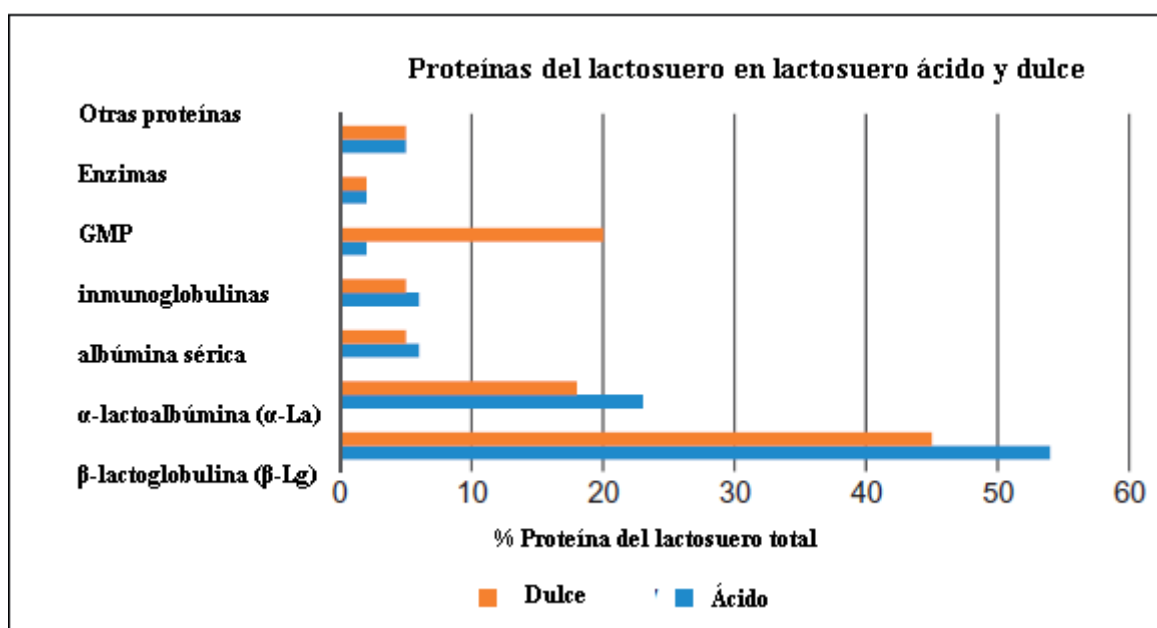


Figura 2. Proporción de proteínas individuales en proteínas de suero derivadas de lactosuero ácido y dulce (queso).

Fuente: (Patel, H., & Patel, S, 2015).

Se dará una mejor información a continuación, con respecto de algunas proteínas del lactosuero antes mencionadas.

### 6.2.1 $\beta$ - Lactoglobulina ( $\beta$ -Lg)

La  $\beta$ -Lg se encuentra en diferentes mamíferos como proteína principal, es la proteína más abundante de muchos rumiantes, animales lecheros tales como: cabras, ovejas y búfalos (Ofteidal, 2013), es la proteína predominante del lactosuero en bovinos, pero no está presente en las leches algunas especies, como algunos roedores (Sawyer, 2013) y humanos (M. Guo, 2014). Algunas características de la  $\beta$ -Lg: es una proteína globular altamente estructurada, las variantes completas de aminoácidos de  $\beta$ -Lg son diferente para cada especie; bovinos (Martin, P., Cebo, C., & Miranda, 2013), ovinos y en los caprinos (Selvaggi et al., 2014).

En cuanto a su estructura la  $\beta$ -Lg de la especie bovino, está compuesta por 162 residuos de aminoácidos y un PM de  $\sim 18.300$  Da (Mingruo Guo, 2019). Su estructura es globular, con siete hebras principales de estructura de lámina beta plisada que forma un “cáliz”, (Boland, 2011). Por otro lado, el grupo sulfhidrilo libre no está presente en la  $\beta$ -Lg de algunas especies (O’Mahony, J. A., & Fox, 2013). Esta proteína tiene algunas funciones, según *Oftedal, (2013)*, su función es principalmente nutricional, como una buena fuente de aminoácidos. Gracias a su estructura en forma de cáliz, es capaz de unirse a numerosos ligandos hidrófobos y anfifílicos. Puede unir la vitamina A (retinol) y D y, por ende, puede actuar como un portador para ellos (O’Mahony, J. A., & Fox, 2013). Es de gran importancia para la industria láctea la desnaturalización por calor y su posterior agregación consigo misma y otras proteínas, también por la formación de geles. Esto se debe al papel de la  $\beta$ -Lg en la formación de depósitos de incrustaciones en intercambiadores de calor, ya que se desnaturalizan  $\beta$ -Lg en un componente importante de los depósitos de suciedad en las primeras etapas del calentamiento de UHT de la leche (temperaturas hasta  $\sim 100$  °C), debido a la gran área de superficie caliente (H. C. Deeth & Lewis, 2017).

### **6.2.2 $\alpha$ - Lactoalbúmina ( $\alpha$ -La)**

La leche bovina contiene  $\sim 1,2-1,5$  g/l de  $\alpha$ -La, es la segunda proteína más importante, representa aproximadamente el 20% del total de proteínas de lactosuero y alrededor del 3,5% del total de proteínas de la leche (O’Mahony, J. A., & Fox, 2013). En la mayoría de mamíferos está presente esta proteína (Brew, 2013), incluyendo la leche materna de los humanos (M. Guo, 2014). Son proteínas compactas, el PM en los bovinos es de 14.178 Da, la  $\alpha$ -La tiene un muy alto contenido de aminoácidos esenciales (H. Deeth & Bansal, 2018). Por parte de la fracción de caseína, se han caracterizado varias decenas de variantes genéticas en leche bovina, ovina y caprina (Martin, P., Cebo, C., & Miranda, 2013). El contenido de aminoácidos para  $\alpha$ -La en los bovinos maduros es de 123. Para las otras especies maduras de mamíferos tiene 121-140 residuos de aminoácidos (Brew, 2011). No contiene ningún grupo sulfhidrilo libre, en contraste contiene cuatro enlaces disulfuro intramoleculares (Brew, 2013). Esta proteína funciona en la regulación de la síntesis de lactosa y la producción de la fase acuosa de la leche. Las actividades biológicas de la  $\alpha$ -La humana hace que sea letal para las células tumorales, esta proteína es la principal proteína del lactosuero en la leche materna (H. Deeth & Bansal, 2018).

### **6.2.3 Albúmina sérica**

La albúmina sérica (SA) tiene concentraciones mucho más bajas en comparación con la  $\beta$ -Lg y  $\alpha$ -La en todas las especies (figura 2). Los bovinos contienen en su leche  $\sim 0,4$  g/l de albúmina de lactosuero bovina (BSA), corresponde al 1,5% de la proteína total de la leche y  $\sim 8\%$  de las

proteínas totales del lactosuero. El contenido de aminoácidos es de 583, un PM de 66.465 Da (H. Deeth & Bansal, 2018). Para la estructura del bovino, se identificó que la albúmina bovina tiene una unión de tres iones de calcio. La SA es una proteína multifuncional con una gran capacidad de unión a ligandos (Majorek et al., 2012). La BSA es un buen indicador de mastitis en las vacas, pero no mejor que el recuento de células somáticas que se utiliza para este propósito. Las personas pueden ser alérgicas a las proteínas de la leche de la vaca, en general, los niños son más alérgicos a la  $\beta$ -lactoglobulina, la  $\alpha$ -lactoalbúmina y la caseína, pero algunos son alérgicos a la BSA (Rangel et al., 2016). Según *Mousan & Kamat, (2016)*, niños entre 13% y 20% son alérgicos a BSA. Por otro lado, otros autores como *Wróblewska & Kaliszewska, (2012)*, concluyeron que ser alérgico se correlaciona principalmente con la BSA, lactoferrina y  $\alpha$ -caseína (H. Deeth & Bansal, 2018).

#### **6.2.4 Inmunoglobulinas**

Las inmunoglobulinas (Igs) son anticuerpos, es un componente importante del sistema de defensa del animal joven contra bacterias, virus patógenos y otras toxinas (H. Deeth & Bansal, 2018). Las (Igs) están presentes de diferentes maneras en la leche (IgG, IgA e IgM, La IgG), de forma principal en la leche y para el calostro bovino, dos (IgG1 e IgG2). Las cantidades en el calostro son mucho más que los de la leche madura. Según *Marnila, P., & Korhonen, (2011)*, en varias investigaciones resumió, que las inmunoglobulinas de la leche son aplicables contra el rotavirus y otras infecciones, *Kramski, et al., (2012)*, reportó que el calostro bovino (primera leche) contiene concentraciones muy altas de IgG y se puede recolectar 1 kg (500 g/l) de IgG de cada vaca inmunizada inmediatamente después del parto.

#### **6.2.5 Lactoferrinas**

La lactoferrina (LF) tiene propiedades antibacterianas y muchas otras bioactividades. También está presente en varios otros fluidos biológicos, incluidas las lágrimas, el líquido sinovial y la saliva (H. Deeth & Bansal, 2018). La lactoferrina para la leche bovina tiene un bajo contenido (0,02-0,5 g/l); en contraste, la leche materna tiene una concentración mayor (1,5-2,0 g/l). La LF de leche de oveja tiene una concentración de 0,8 g/l, para la leche de búfala y camello (0,03-3,4 g/L y 0,02-7,28 g/l, respectivamente (Claeys et al., 2014). El calostro bovino contiene un promedio de 1,5 g/l y el calostro humano contiene hasta 16 g/l. Cuando las vacas tienen mastitis, el contenido de LF es de 1,2 g/l en su leche, y las vacas sanas contienen 0,09 g/l, la LF tiene un PM de ~80.000 Da (H. Deeth & Bansal, 2018). Sus aplicaciones son: agente antibacteriano, absorción de hierro, antiinflamatorio, protección de la flora intestinal, estimulación de las células inmunitarias y antioxidante. Los principales sectores de mercado de la LF son productos alimenticios, fórmulas para lactantes, alimentos deportivos y

funcionales, productos farmacéuticos, especialidades veterinarias y de piensos y productos para el cuidado personal por *O’Riordan, et al., (2014)* y *Consulting, (2015)*.

### 6.2.6 Lactoperoxidasa

La lactoperoxidasa (LP) es una enzima natural del sistema de defensa de los mamíferos, el PM es de 78 kDa, tiene una cadena polipeptídica única de 612 residuos de aminoácidos. Uno de sus usos principales es como factor protector contra microbios infecciosos. Los ratones infectados por el virus de la influenza pueden atenuarse mediante la administración oral de lactoperoxidasa (Yadav et al., 2015).

## 6.3 CLASIFICACIÓN DEL LACTOSUERO

El lactosuero se clasifica en el lactosuero ácido y el lactosuero dulce, en la tabla 1 se muestra sus composiciones. Por parte del lactosuero ácido, contiene niveles más altos de cenizas y niveles más bajos de proteína al contrario que el lactosuero dulce, esto limita sus aplicaciones en la industria alimentaria y dificulta su utilización (Lievore, et al., 2015).

**Tabla 1. Composición del lactosuero ácido y dulce.**

Componente	Lactosuero dulce (g/L)	Lactosuero ácido (g/L)
Sólidos totales	63,0-70,0	63,0-70,0
Lactosa	44,0-46,0	46,0-52,0
Proteína	6,0-8,0	6,0-10,0
Calcio	1,2-1,6	0,4-0,6
Fosfato	2,0-4,5	1,0-3,0
Lactato	6,4	2
Cloruro	1,1	1,1

Fuente: (Gómez Soto & Sánchez Toro, 2019).

Para empezar a entrar en detalle sobre estos lactosueros, se explicará el lactosuero ácido, seguido del lactosuero dulce a continuación.

### 6.3.1 Lactosuero ácido

El lactosuero ácido (pH <5,0) se genera en la producción de queso fresco, este proceso incluye la producción de requesón ácido o caseína ácida o una combinación de ácido y cuajo, y se diferencia del lactosuero dulce en la cantidad de proteínas, minerales y concentraciones de lactosa, en la tabla 1 se muestran su composición. Este lactosuero tiene una mayor acidez y contenido de calcio, y una ausencia de caseinomacropéptido. Este tipo de lactosuero desperdicia principalmente y/o se usa como alimento para animales (Konrad et al., 2012). El lactosuero ácido contiene muchos azúcares y nutrientes que pueden ser utilizados por

microorganismos y según *Mano, et al., (2020)*, presenta una nueva tecnología de plataforma que convierte el suero ácido en productos de valor agregado utilizando *Yarrowia lipolytica* con un rendimiento de 0,146 g-FA/g-sustratos y una conversión total rápida de todas las fuentes de carbono en lactosuero ácido, produciendo 6,61 g/l de ácidos grasos (FA) (Mano et al., 2020). La proteína ácida del lactosuero, se ha identificado en la leche de solo unas pocas especies de mamíferos, incluidos el ratón, la rata, el conejo, el camello, el cerdo, el ualabí de Tammar, la zarigüeya cola de cepillo, el equidna y el ornitorrinco, pero está ausente en las leches de ruminantes debido a un cambio de marco mutación en el gen que codifica la proteína del suero ácido (Martin, P., Cebo, C., & Miranda, 2013).

### **6.3.2 Lactosuero dulce**

El lactosuero dulce es obtenido por la coagulación de la caseína utilizando cuajo (mezcla de la enzima quimosina u otras enzimas coagulantes de caseína) a un pH de ~6,5 (Gómez Soto & Sánchez Toro, 2019). Contiene: agua, proteínas, lactosa, vitaminas, minerales y grasas, como se muestra en la tabla 1. Su valorización es importante en la nutrición humana como ingrediente alimenticio lácteo por su relevante composición, particularmente por la presencia de proteínas de alta calidad (valor nutritivo, propiedades funcionales). Para mejorar las propiedades de las proteínas y darle un valor agregado al lactosuero, el lactosuero dulce a menudo se concentra mediante procesos de membrana impulsados por presión en el concentrado de proteína de lactosuero (WPC) o en el aislado de proteína de lactosuero (Faucher, et al., 2020).

## **7. SECTORES COLOMBIANOS QUE TIENEN APLICACIÓN EL LACTOSUERO**

### **7.1 EMPRESAS GENERADORAS DE LACTOSUERO EN COLOMBIA**

Las empresas generadoras de lactosuero son las empresas lácteas, estas empresas no producen productos derivados del mismo, las principales empresas lácteas de Colombia son: Gloria (Bogotá), Parmalat (Bogotá), El Mortiño (Cogua-Cundinamarca), Colfrans (Bogotá), Alival (Cauca), Lácteos la Esmeralda (Madrid-Cundinamarca), Productos Alimenticios el recreo (Zipaquirá-Cundinamarca), Doña leche alimentos (Bogotá) y Laktoland (Cogua-Cundinamarca), de las cuales han sido investigadas por adulterar la leche con lactosuero según la revista La República (Díaz, 2020). Otros datos de producción, como las de Demogán, se da a conocer que en Colombia existen unos 350.000 predios ganaderos productores de leche y unas 220 industrias lácteas certificadas que procesan al día 9 millones de litros (Negocios, 2020).

## **7.2 MANEJO DE RESIDUOS DEL LACTOSUERO EN COLOMBIA**

Según la *Industria y Comercio Superintendencia*, (2013), por parte de Colombia, el lactosuero se utiliza en gran medida como alimento para cerdos u otros animales, estos usos no le dan un valor agregado significativo (se vierte en las aguas residuales). En Colombia se produce 19 millones de litros al día de leche, por parte de la industria, son 203 industrias lácteas (Díaz, 2020). Para no tener un mal uso del lactosuero como los de las empresas antes mencionadas, se hizo el Decreto 616 de 2016, del Ministerio de Salud y Protección Social, en donde nos dice que: *“Queda prohibida la adición de lactosueros a la leche en todas las etapas de cadena productiva”*. Roberto Ramírez, presidente de Demogán nos dice que: *“El lactosuero no se puede prohibir, es fundamental para muchas industrias, pero se debe cumplir lo reglamentado, no se puede incluir lactosuero cuando dice leche”* (Solórzano, 2020). Según resolución número 02310 de 1986 del Ministerio de Salud se deben tener características fisicoquímicas, microbiológicas en donde se le harán exámenes de rutina y especiales, también según la Resolución Número 2997 los aditivos permitidos y de envase, también si se desea importar se deben tener los requisitos adecuados, además de tener un saneamiento adecuado, distribución, transporte y almacenamiento. Gracias a la ley 1715 de 2014 en la cual se regula la integración de energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional los proyectos pueden ser viables en la utilización de este producto y sus aplicaciones que ya se han investigado y aplicado. En cuanto al INVIMA, cuenta con laboratorios para implementar pruebas que comprueben si una empresa quiere hacer pasar el lactosuero como una bolsa de 100% leche (J. López, 2020).

## **7.3 APLICACIONES DEL LACTOSUERO EN DISTINTOS SECTORES**

Hay muchas aplicaciones para el lactosuero, entre esas puede ser para alimentación animal, fertilizantes para cultivos, también se puede usar en la industria alimenticia, energética y farmacéutica, aunque en mayoría de estos productos se utiliza en la producción de sus proteínas (H. Deeth & Bansal, 2018). Los concentrados de proteína de lactosuero (WPC) tienen una pureza de 45%-70% y los aislados de proteína de lactosuero (WPI), entre el 80%-90%. Cuanto mayor es el porcentaje de pureza, el producto es más versátil para un uso adecuado en las industrias. Gracias a esta característica, los WPC (con un grado de pureza menor), se utilizan fundamentalmente en la industria de alimentación animal y para los WPI (con un grado de pureza mayor), se fundamenta su aplicación en sectores: farmacéuticos, más exactamente en la elaboración de cápsulas y recubrimientos de medicamentos, en la parte alimenticia, como emulsificante y espesante en bebidas, como emulsificante en lácteos (en menor proporción) y

demás aplicaciones nutricionales (Industria y Comercio Superintendencia, 2013). Las aplicaciones en algunos sectores (alimenticio, energética y farmacéutico) se verán a continuación.

### **7.3.1 Sector alimenticio**

Para este sector, se utilizan las proteínas del lactosuero en varios alimentos por sus propiedades gelificantes, emulsionantes y estabilizantes de alimentos (Gómez Soto & Sánchez Toro, 2019). Otro uso es en los suplementos deportivos (Ali, et al., 2018) y alimentos como los distintos productos de la empresa SMARTCOL (SMARTCOL, 2020). La producción en el sector alimenticio es un proyecto viable debido a las demandas nutricionales del país.

#### **7.3.1.1 Suplementos alimenticios**

Los suplementos alimenticios se deben a la proteína del lactosuero (WP), estas proteínas contienen efectos antioxidantes, inmunoglobulinas y proteínas y péptidos bioactivos (procesos que ocurren después de la digestión) que tienen efectos antimicrobianos, antivirales, anticancerígenos y de mejora inmunológica (H. Deeth & Bansal, 2018).

#### **7.3.1.2 Efecto antiinflamatorio**

En el transcurso del ejercicio, se libera la citocina antiinflamatoria IL-6, esto es debido en una proporción, al daño muscular y al agotamiento del glucógeno (Cruzat, et al., 2014). Estudios han demostrado que el consumo de la WP disminuye estos efectos durante 120 minutos de ejercicio de ciclismo prolongado (Schroer, et al., 2014). Otros estudios del lactosuero demuestran mejoras en la pérdida de energía a través de la excreción de grasa fecal, la regulación de la homeostasis de la glucosa y la adipogénesis, lo que resulta en un efecto antiinflamatorio (Cruzat, et al., 2014).

#### **7.3.1.3 Efecto antimicrobiano**

La WP tiene ~ (1%-2%) de la proteína antimicrobiana lactoferrina (LF). Gracias a esto se demuestra que inhiben el crecimiento de bacterias y hongos, por el contrario, también es posible que promuevan el crecimiento de bacterias beneficiosas como las bifidobacterias (Ali, et al., 2018). La LF aporta a la defensa en contra de patógenos, por medio de la activación de células implicadas en la respuesta antiinflamatoria durante el proceso de la infección microbiana, por lo tanto, mejora la autoinmunidad (Sharma, 2018).

#### **7.3.1.4 Efecto antioxidante**

Durante el ejercicio se aumenta la producción de las especies reactivas del oxígeno (ROS), debido a los neutrófilos y esto induce a la muerte celular de las células inmunes. El uso frecuente de la WP mejora las defensas antioxidantes (Ali, et al., 2018). La actividad



antioxidante de la WP es muy importante, gracias a que es capaz de tratar el envejecimiento y mejorar la inmunidad de todo el cuerpo (Mangano, et al., 2019).

### 7.3.2 Sector energético

Cuando se implementan procesos integrados, que es combinación de procesos físicos, químicos y biológicos, estos procesos son clave para una valorización rentable y eficiente de los efluentes lácteos. Los procesos en el sector energético son de alta valorización debido a que disminuyen agentes contaminantes, se ahorra energía y aporta a la sostenibilidad, algunos productos por parte de este sector se verán a continuación (Asunis, et al., 2020a).

#### 7.3.2.1 Producción de hidrógeno a partir del lactosuero

La fermentación oscura es un buen candidato para la valorización del lactosuero, ya que contiene elevadas concentraciones de carbohidratos que se pueden convertir en biohidrógeno y ácidos grasos volátiles (AGV). Si no están presente los pretratamientos del lactosuero e inocuo externo, la DF del lactosuero implicaría principalmente tres pasos, incluyen (1) hidrólisis de lactosa en glucosa y galactosa, (2) conversión de azúcares monoméricos en lactato por microorganismos homolácticos, como *Lactobacillus*, y (3) conversión de lactato en  $H_2$  y AGVs por microorganismos fermentativos, tales como *Clostridium*, el proceso que representa estas vías de fermentación se muestran en la figura 3 (Asunis, et al., 2020b).

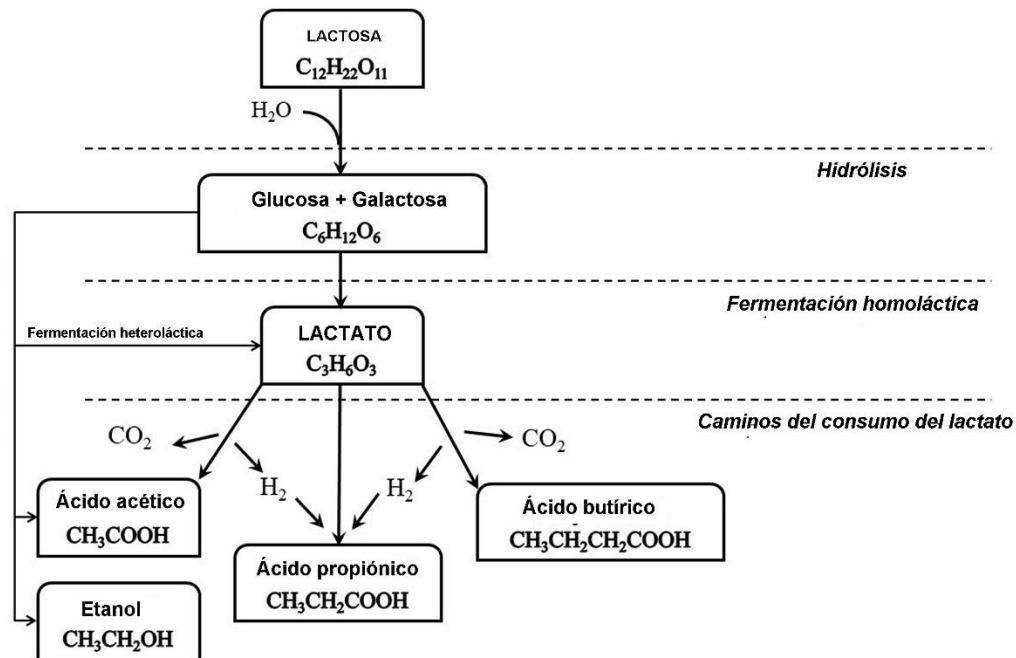


Figura 3. Vías de fermentación de lactosa más comunes de microorganismos autóctonos de CW.

Fuente: (Asunis, et al., 2020a).

Se puede obtener un rendimiento máximo teórico de  $8 \text{ mol de } H_2 \text{ mol}^{-1}$  de lactosa mediante DF, si el acetato es el único producto de reacción soluble. Diferentes técnicas se usan la producción de hidrogeno para obtener un mayor rendimiento, por ejemplo, utilizar cultivos de

distintas bacterias y estos procesos depende del sustrato, inocuo, pH y tratamientos (Asunis, et al., 2020b).

#### **7.3.2.2 Producción de bioetanol a partir del lactosuero**

El bioetanol tiene un gran potencial para reemplazar los combustibles fósiles, y, Colombia podría darle un valor agregado a este producto como ha ocurrido en otros países, tales como: Irlanda, Nueva Zelanda, EEUU de los cuales han implementado esta tecnología (Guimarães, et al., 2010). Esta producción se debe a la fermentación del lactosuero utilizando distintos microorganismos, se puede utilizar la fermentación discontinua, aunque la fermentación continua tiene una buena efectividad y varias ventajas. Los rendimientos del etanol dependen de algunos parámetros como la concentración del sustrato, el pH y la temperatura. Se utiliza el lactosuero, permeado del lactosuero seco o evaporado como sustrato, debido a las altas concentraciones de lactosa (Das, et al., 2016) y otros nutrientes, se utiliza *Kluyveromyces marxianus* para su obtención y por tener rendimientos superiores al 90% (Gabardo, et al., 2014).

#### **7.3.2.3 Producción de metano a partir del lactosuero**

La producción de metano a partir del lactosuero se debe a procesos como la digestión anaeróbica (DA), este proceso es una biotecnología capaz de producir un vector energético a partir de materiales orgánicos de desecho. Cuando transcurre la fermentación del lactosuero, gran parte de la lactosa (62%) se convierte en AGV (5 g/l) y ácido láctico (18 g/l), y luego se transforma en metano (Traversi, et al., 2013). La producción energética por DA anualmente está valorada en pocos MWh como energía eléctrica y algunos cientos como energía térmica. Esta producción es útil para las empresas que manejen estos recursos ya que generan parte de su energía, o bien para venderla (Asunis, et al., 2020a).

#### **7.3.2.4 Integración de los procesos energéticos**

Los residuos son un gran problema a la hora de obtener estos productos, una combinación o integración de estos procesos hace que se aproxime a cero residuos (Bogel-Lukasik, 2013). Los biopolímeros también se pueden producir a partir de la fermentación del lactosuero, principalmente de AGV, por ejemplo, los biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA) y los polihidroxialcanoatos (PHA). Otros procesos, utilizan tecnologías electroquímicas microbianas (MET) para recuperar la energía contenida en CW como electricidad en celdas de combustible microbianas (MFC) o como H<sub>2</sub> en celdas de electrólisis microbiana (MEC) (Rago, et al., 2017). Los procesos integrados (físicos, químicos y biológicos) se muestran en la siguiente tabla (Tabla 2) (Asunis, et al., 2020a).

**Tabla 2. Combinación de al menos dos procesos químicos o biológicos para la recuperación de energía o recursos a partir de sustratos basados en CW.**

Na: No hay información.

Proceso	Sustrato	Inóculo	Temperatura (° C)	TRH	Producción	Eliminación de DQO (%)
Acidogénesis + metanogénesis (reactor concéntrico de dos etapas, 190 ml para reactor acidógeno, 790 ml para reactor metanogénico) (Bertin, et al., 2013).	Suero de queso + estiércol de ganado (1: 1; 35,2 g DQO/l)	Lodos metanogénicos (ambos procesos)	35 (ambos procesos)	5 días (acidogénesis); 20 días (metanogénesis)	Metano: 258 l/kg VS	83
Precipitación isoelectrica, nanofiltración + fermentación oscura (UASB, 7,4 l) (Chen, et al., 2016).	Leche en polvo (3,0 g DQO/l)	Lodos de depuradora	25 (precipitación y nanofiltración) 37 (fermentación oscura)	12 h (fermentación oscura)	Proteínas: 192 g/kg DQO Agua reutilizable; Hidrógeno (no cuantificado); AGV: 2,2 g/l	na
Etapa de hidrólisis enzimática con $\beta$ -galactosidasa + Fermentación oscura (CSTR, 4 l) + Producción de PHA (SBR, 1 l); Ensayo de lote de alimentación, 0,5 l) (Colombo, et al., 2019).	Suero de queso secundario y permeado de suero de queso concentrado OLR: 8, 11, 15 g de azúcares l <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> para fermentación oscura; 1,5 mg DQO l <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> para producción de PHA)	Lodos digeridos anaeróbicos pretratados térmicamente (fermentación oscura); Lodos activados (producción de PHA)	55 (fermentación oscura) 25 (producción de PHA)	2 días (fermentación oscura) 1 día (producción de PHA)	Hidrógeno: 163–233 l/kg DQO PHA: 268-274 g/kg DQO	na
	Suero de queso en polvo (45,5 g DQO/l)	Lodos granulares anaeróbicos	37 (fermentación oscura)	6 h (ambos procesos)	Hidrógeno: 137 l/kg DQO;	92

Fermentación oscura (CSTR, 3 l) + metanogénesis (UASB, 1 l) (Cota-Navarro et al., 2011).			25-30 (metanogénesis)		Metano: 250 l/kg DQO	
Fermentación oscura (lote, 2 l) + metanogénesis (lote, 2 l) (Kothari, et al., 2017).	Aguas residuales de lechería (11,2 g DQO/l)	<i>Enterobacter aerogens</i> (fermentación oscura);	30 (fermentación oscura)	13 h (fermentación oscura);	Hidrógeno: 105 l/kg DQO;	64
		Purines de estiércol de vaca digeridos (metanogénesis)	35 (metanogénesis)	7 días (metanogénesis)	Metano: 190 l/kg DQO	
Fermentación oscura (lote, 500 ml) + electrólisis biocatalizada (MEC, 400 ml) (Marone, et al., 2017).	Suero de queso ricotta desproteinizado (57,8 g DQO/l) diluido a 3 g DQO/l	Lodos digeridos anaeróbicos (fermentación oscura)	37 (ambos procesos)	48 h (fermentación oscura);	Hidrógeno: 95,1 + 714,7 l/kg DQO;	63
				14 días (MEC)	Corriente eléctrica: 7,46 A m <sup>-2</sup>	
Fermentación oscura (lote, 250 ml) + electrólisis biocatalizada (MEC, 50 ml) (Moreno, et al., 2015).	Suero de queso (fermentación; 122 g DQO/l );	Lodos digeridos (fermentación oscura);	35 (fermentación oscura)	No informado para fermentación oscura;	Hidrógeno: 94,2 l/kg VS;	82
Fermentación oscura (lote, 100 ml) + foto fermentación (lote, 100 ml) (Rai, et al., 2012).	Suero de queso diluido (10 g de lactosa/l)	<i>Enterobacter aerogens</i> (fermentación oscura);	30 (fermentación oscura)	84 h (ambos procesos)	Hidrógeno: 199 l/kg DQO	36
		<i>Rhodopseudomonas</i> (fotofermentación )	34 (fotofermentación)			

Fuente: (Asunis et al., 2020a).

### **7.3.3 Sector farmacéutico**

Algunos beneficios se deben al estudio la proteína del lactosuero, por ejemplo, para el tratamiento del cáncer, salud inmunológica, control de peso, osteoporosis, estrés y salud mental (Sharma, 2018). Una aplicación entre tantas es el del hidrolizado de WP, por el cual se obtuvo un efecto protector considerable respecto al daño hepático inducido por paracetamol (Athira, et al., 2013). La WP, es un tipo de proteína importante de la leche, y sus derivados tienen valor terapéutico en la salud y las enfermedades humanas a futuro. Por ejemplo, las proteínas del lactosuero tienen gran futuro para prevenir y tratar la diabetes (Gunnerud, et al., 2012; Hoefle, et al., 2015; Wildová, E. and Anděl, 2013), enfermedades cardiovasculares, enfermedad hepática, enfermedades que se relacionan con el sistema inmunológico y obesidad, se ha demostrado que la WP inhibe la enzima convertidora de angiotensina y, por lo tanto, inhibe la producción de la hormona angiotensina II (Abreu et al., 2012; Panahi, 2014).

#### **7.3.3.1 Tratamiento del cáncer**

El BSA presentaba un futuro prometedor de inhibir el crecimiento de la línea celular de cáncer de mama humano. El potencial posible de la WP anticancerígeno se deriva en gran medida de los efectos antioxidantes, desintoxicantes y de mejora del sistema inmunológico de sistémica del tripéptido glutatión (GSH) y LF (Sharma, 2018). El efecto protector de la proteína de lactosuero dietético y la proteína de lactosuero hidrolizada se han comprado contra el cáncer de colon inducido por azoximetano y sulfato de sodio dextrano en ratas, también se descubrió que el hidrolizado de proteína de lactosuero es más eficaz para prevenir el desarrollo de tumores de colon en comparación con la proteína de lactosuero (Attaallah, et al., 2012).

#### **7.3.3.2 Tratamiento para la salud inmunológica**

Las WP son ricas en cisteína libre que mejora la producción de sistémica del tripéptido glutatión (GSH), esto es importante debido a la regulación inmunológica, los concentrados de la WP mejoran la inmunidad de la mucosa innata durante la vida temprana y su rol es de ser protector en algunos trastornos inmunológicos (Sharma, 2018). Estudios revelan que, dado que las WP pueden mejorar los niveles de glutatión, también pueden ayudar a combatir las incidencias de psoriasis (Prussick, R., Prussick, L., & Gutman, 2013) y VIH (Sharma, 2018).

#### **7.3.3.3 Tratamiento para el control de peso**

También la WP tiene un futuro como ingrediente alimentario funcional el cual contribuya a la regulación del peso corporal debido a que proporciona señales de saciedad que afectan la regulación de la ingesta de alimentos tanto a corto como a largo plazo, la WP tiene un efecto sobre la saciedad, puede estar relacionado a su efecto sobre la liberación de las hormonas de la

saciedad de la insulina y colecistoquinina. La WP hace que se estimule la liberación de insulina, esto modifica la respuesta glucémica y las cantidades plasmáticas de insulina, que se asocian en gran medida con la saciedad a corto plazo y la disminución de la ingesta de alimentos (Sharma, 2018). La obesidad está relacionada con las enfermedades cardiovasculares. Un estudio revela que la WP después de la ingestión (en algunas horas), redujo ~30% de los triglicéridos plasmáticos cuando se compara con la caseína en mujeres posmenopáusicas con sobrepeso (Mangano, et al., 2019). Otra investigación muestra que las precargas de WP 30 minutos antes de la comida principal *ad libitum* durante varias semanas, muestran unos efectos beneficiosos mejores que las precargas de proteína de soja sobre la presión arterial, el nivel rápido de glucosa y el perfil de lípidos en hombres con sobrepeso y obesidad (Tahavorgar, et al., 2015; Golzar, F.A.K., Vatani, D.S., Mojtahedi, 2012).

#### **7.3.3.4 Tratamiento para la osteoporosis**

Estudios han demostrado que la proteína básica de la leche (MBP) tiene la capacidad para estimular la proliferación y diferenciación de las células osteoblásticas, también para suprimir la resorción ósea con ingredientes de WP y leche. MBP es una proteína con varias funciones que actúa directa e indirectamente sobre las células óseas para reforzar el propio hueso, esto hace que sea más receptivo al calcio y en simultaneo prevé que el exceso de calcio se disuelva de los huesos. Cuando se toman dosis diaria de proteína básica de leche MBP de 40 mg (~ 400-800 ml de leche) pueden ser suficientes para producir un aumento significativo de la densidad mineral ósea y una reducción de la resorción ósea (Sharma, 2018).

#### **7.3.3.5 Tratamiento para el estrés y salud mental**

Algunas investigaciones demuestran que la  $\alpha$ -La mejora la función cerebral y ayuda a aliviar estrés y depresión esto es debido a que es rica en triptófano, por lo tanto aumenta el contenido de serotonina cerebral que puede mejorar la capacidad de afrontar el estrés (Ali, et al., 2018).

### **7.4 PRODUCTOS DERIVADOS LACTOSUERO**

Algunos productos de las proteínas del lactosuero ya han sido sacados al mercado como suplementos alimenticio y nutricionales, por parte de USA (se usan en Colombia), entre estos productos están: ThinkitDrinkit (empresa GoDaddy, USA), bioZzz (empresa biPro, USA), Immunocal (empresa Immunotec, USA), Acneadvance (empresa futurebiotics, USA), ImmunPlex (empresa ProHealth, USA), IMUPlus (empresa Drugs, USA), para la empresa Cambrooke, USA: Tylactin RTD (ready-to-drink), Tylactin RESTORE Powder (empresa Cambrooke, USA), Tylactin RESTORE, BetterMilk, Glytactin RESTORE Powder, Glytactin BUILD, Glytactin SWIRL, Glytactin RTD (Sharma, 2018). Los productos que se usan más en

Colombia son suplementos deportivos de la proteína del lactosuero (Megaplex creatine Power, Gainer Pro, entre otras), estos suplementos se pueden encontrar en *Libre*, (2021). Por parte del sector energético se cuenta con el biogás y demás, algunas empresas en el mundo proporcionan sistemas de tratamientos de aguas residuales de la industria láctea, como lo es Valvio basada en tecnología UASB (produciendo energía), Dairygold Co-Operative Society Limited con el digestor anaeróbico más grande del mundo o la lechería First Milk's Lake District (Asunis, et al., 2020a). Estos productos dan lugar al avance que se lleva en algunos sectores y que se pueden implementar en Colombia, por ende, producirlos a gran escala. Los procesos de transformación del lactosuero según el sector se verán a continuación.

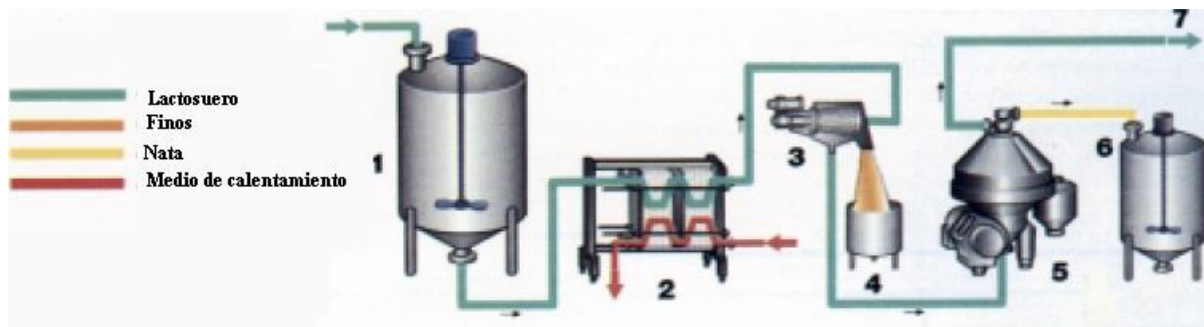
## **8. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DEL LACTOSUERO SEGÚN EL SECTOR**

### **8.1 SECTOR ALIMENTICIO**

Actualmente diferentes tratamientos del lactosuero para el sector alimenticio pero, para Colombia se utiliza como desperdicio, algunos procesos son: la recuperación de finos de caseína y separación de grasa, enfriamiento y pasteurización, concentración de sólidos totales (concentración y secado), fraccionamiento de los sólidos totales (recuperación de las proteínas, ultrafiltración, desengrasado del concentrado de proteínas del lactosuero CPS, recuperación de las proteínas desnaturalizadas del lactosuero, aislamiento cromatográfico de lactoperoxidasa y lactoferrina), recuperación de la lactosa (cristalización, refinado de la lactosa), desmineralización (desalinización), desmineralización parcial por nanofiltración NF, desmineralización de alto grado (electrodiálisis, intercambio iónico), conversión de la lactosa (hidrólisis de la lactosa, enzimática y ácida), reacción química. Algunos de estos procesos se verán a continuación (Gómez, 1996).

#### **8.1.1 Proceso de recuperación de finos de caseína y separación de la grasa**

En la figura 4 se muestra el proceso de recuperación de finos de caseína y separación de la grasa, se utiliza ciclones, separadores centrifugas o filtros rotativos. El proceso consiste en: 1 tanque de recogida de lactosuero, 2 intercambiador de calor de placas, 3 tamiz rotatorio, 4 tanque de recogida de finos, 5, separadora de nata del lactosuero, 6 tanque de nata de lactosuero y 7 lactosuero para tratamiento posterior. Por último, se enfría y pasteuriza (Gómez, 1996).

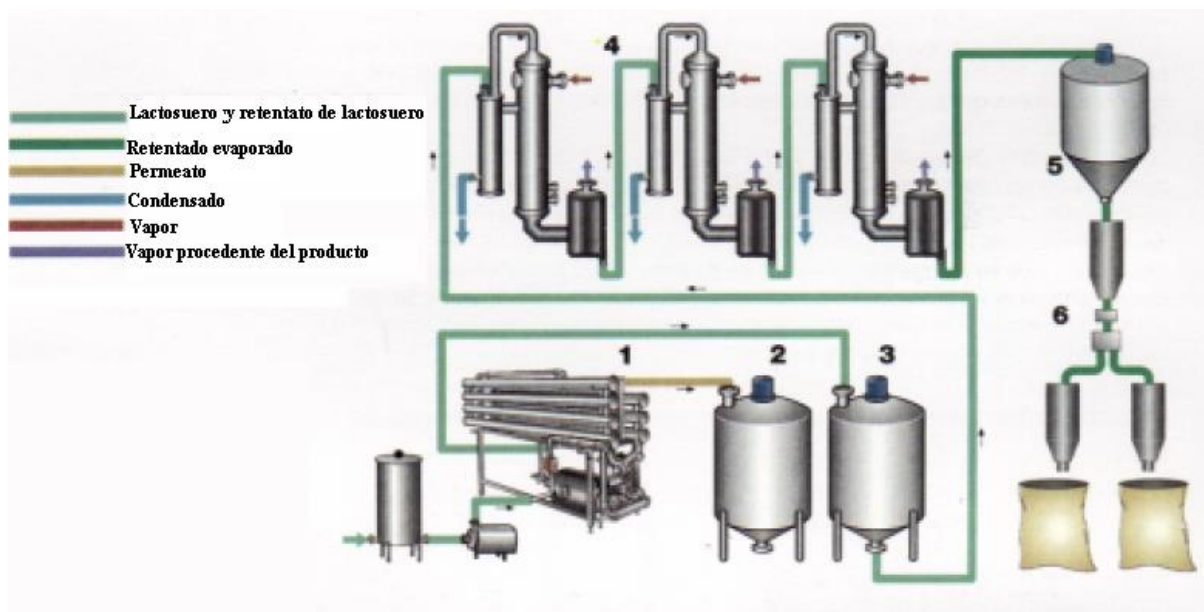


**Figura 4. Separación de finos y grasa del lactosuero.**

Fuente: (Gómez, 1996).

### 8.1.2 Concentración de sólidos totales y fraccionamiento de sólidos totales

La concentración de sólidos totales consiste en la concentración en vacío en un evaporador y por último un secado. En cuanto al fraccionamiento de sólidos totales consiste en la recuperación de proteínas por diferentes técnicas de precipitación y también por ultrafiltración el cual se muestra en la figura 5 (Gómez, 1996).



**Figura 5. Proceso de recuperación de un concentrado deshidratado de proteína utilizando la UF.**

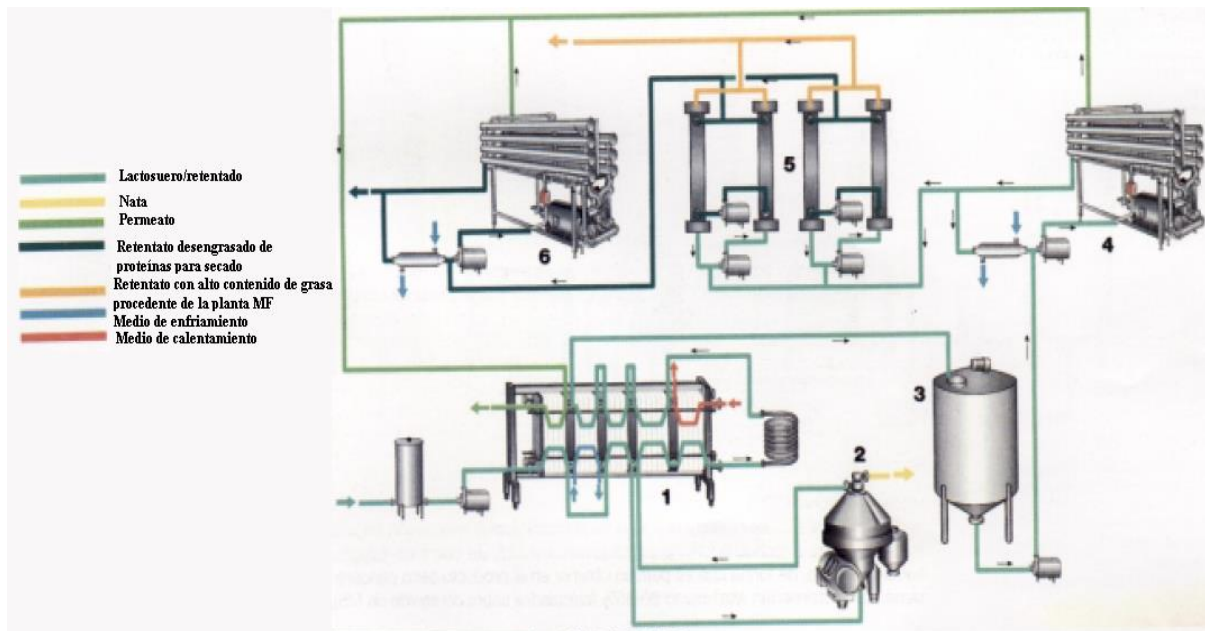
Fuente: (Gómez, 1996).

Para este proceso, corresponden: 1 unidad UF, 2 tanque de recogida de permeato, 3 tanque pulmón de retentado de lactosuero, 4 evaporador, 5 secado, 6 ensacado (Gómez, 1996).

### 8.1.3 Desengrasado del concentrado de proteína del lactosuero (CPS)

Este concentrado es útil para reemplazar algunos productos, como la clara de huevo en productos batidos entre otros ingredientes, la planta de microfiltración reduce el contenido de la grasa como se muestra en la figura 6 (Gómez, 1996).





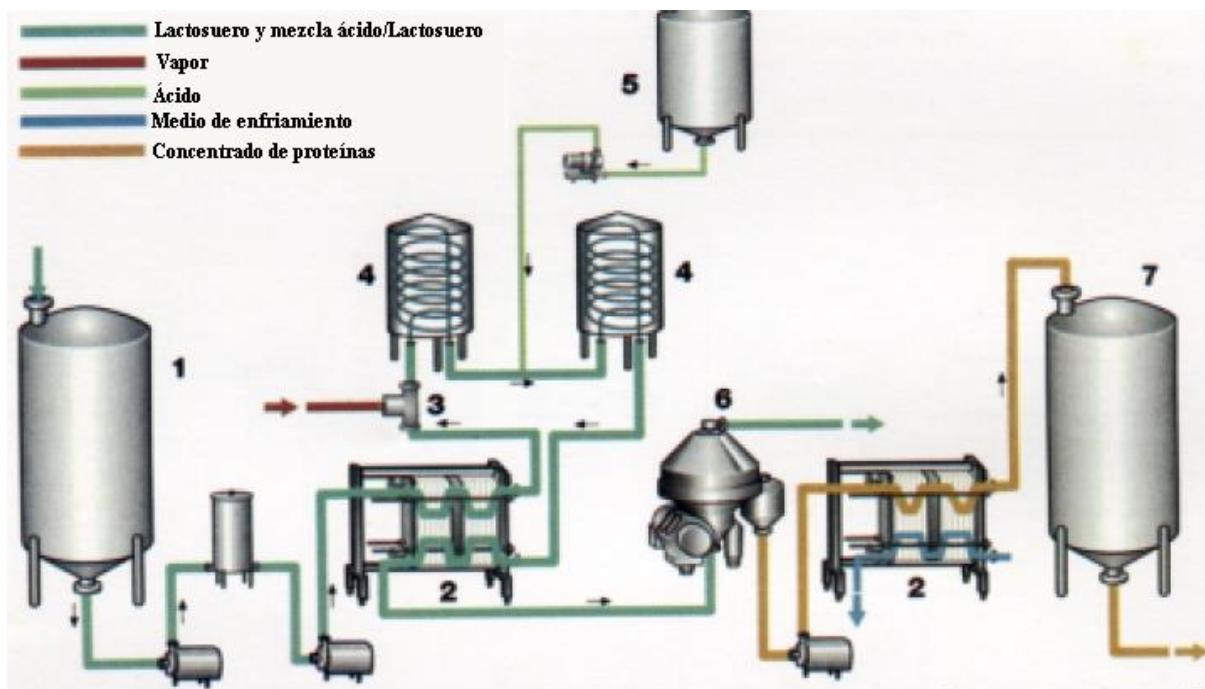
**Figura 6. Proceso para desengrasado del retentado de seroproteínas.**

Fuente: (Gómez, 1996).

El proceso consiste en: 1 pasteurizador, 2 separadora de nata de lactosuero, 3 tanque de mantenimiento, 4 primera planta UF, 5 planta MF, 6 segunda planta UF (Gómez, 1996).

#### 8.1.4 Recuperación de las proteínas desnaturalizadas del lactosuero

Este proceso consiste en dos etapas, precipitación y concentración por separación centrifuga, se puede observar en la figura 7 (Gómez, 1996).



**Figura 7. Recuperación de seroproteínas desnaturalizadas.**

Fuente: (Gómez, 1996).

El proceso consiste en: 1 tanque de recogida de lactosuero, 2 intercambiador de calor de placas, 3 inyector de vapor, 4 tubo de mantenimiento, 5 tanque ácido, 6 clarificadora, 7 tanque de recogida de seroproteína desnaturalizada (Gómez, 1996).

### 8.1.5 Recuperación de la lactosa

Se puede recuperar la lactosa por cristalización, el proceso se muestra en la figura 8 (Gómez, 1996).

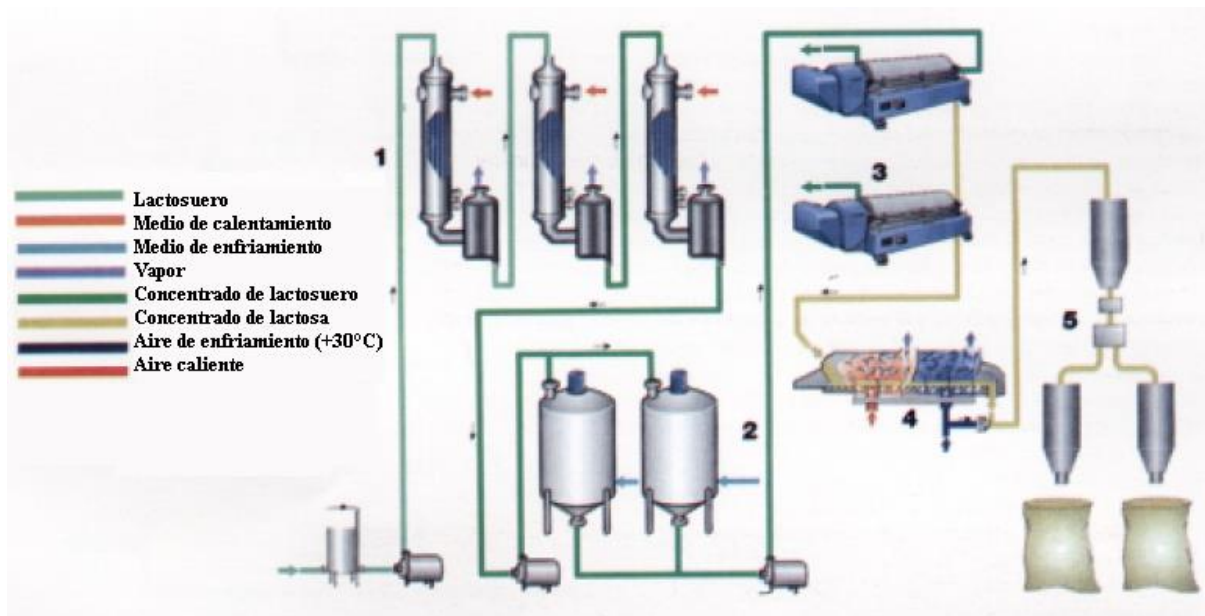


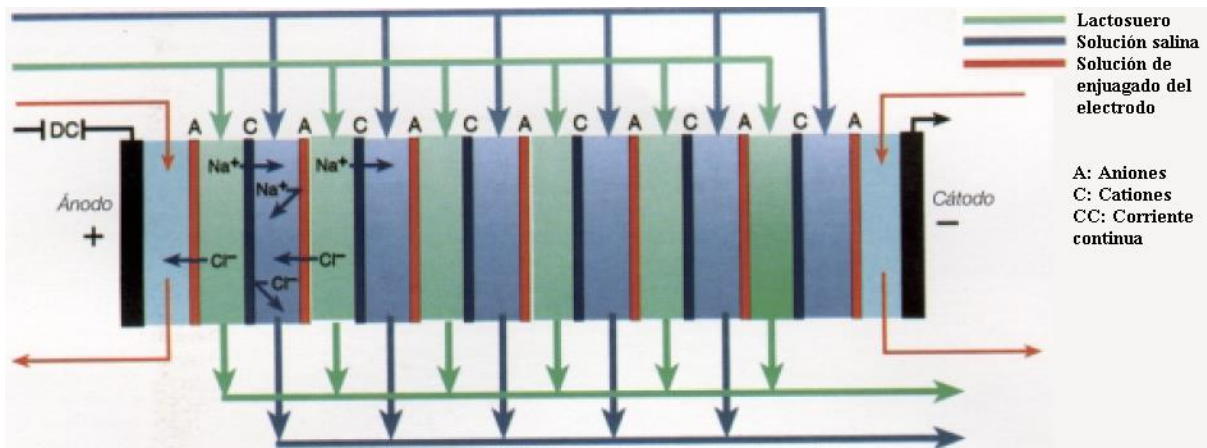
Figura 8. Línea de proceso para la fabricación de lactosa.

Fuente: (Gómez, 1996).

El proceso consiste en: 1 evaporador, 2 tanques de cristalización, 3 decantadoras centrifugas, 4 secadero de leche fluidizado y 5 envasado (Gómez, 1996).

### 8.1.6 Desmineralización (Desalinización)

Existe varios tipos de desmineralización que eliminan sales inorgánicas junto con cierta reducción del contenido de iones orgánicos como lactatos y citratos. Se puede encontrar la desmineralización parcial por nanofiltración (NF) y desmineralización de alto grado, este último tipo de proceso se lleva a cabo por electrodiálisis como se muestra en la figura 9 (Gómez, 1996).



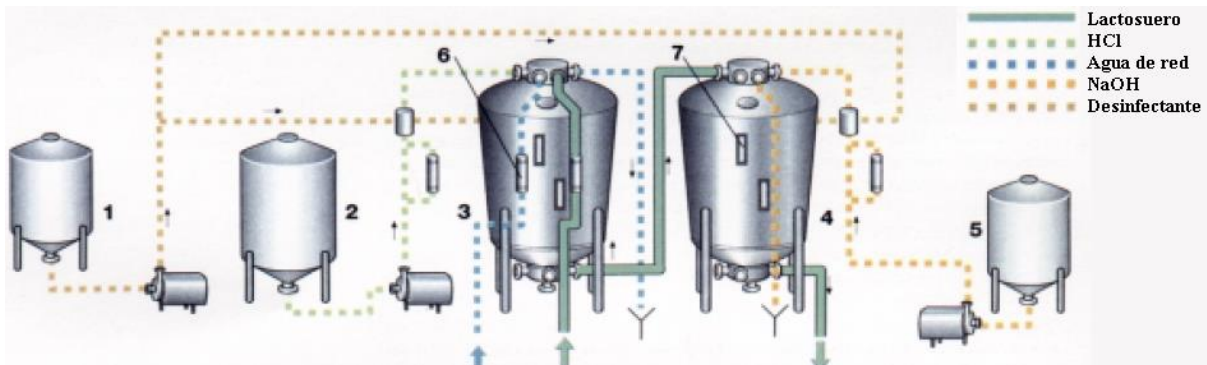
**Figura 9. Paquete de células de electrodiálisis.**

Fuente: (Gómez, 1996).

El proceso consiste en que las células alternadas del paquete de electrodiálisis actúan como células de concentración y dilución respectivamente, gracias a este proceso se eliminan los iones de las células del lactosuero. En contraste está el intercambio iónico, este proceso elimina los sólidos ionizables de las soluciones sobre una base continua electroquímica, la resina absorbe los minerales (Gómez, 1996).

### 8.1.7 Procesos de intercambio iónico para desmineralización

Estos procesos son establecidos para el tratamiento de aguas y funciona también para la desmineralización del lactosuero, en la siguiente figura 10 se muestra un proceso convencional de intercambio iónico (Gómez, 1996).



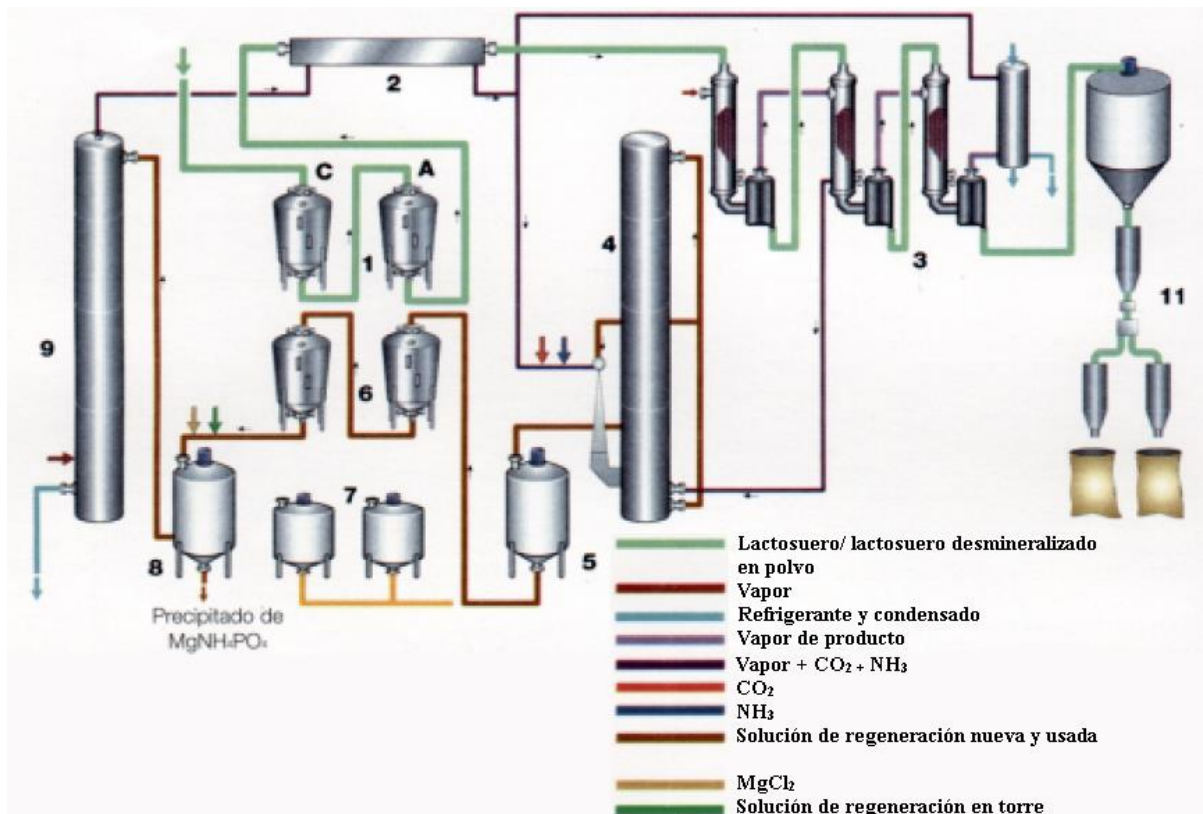
**Figura 10. Planta de desmineralización de lactosuero de queso mediante intercambio iónico clásico.**

Fuente: (Gómez, 1996).

El proceso consiste en: 1 tanque de desinfección, 2 tanque de HCl, 3 tanque catiónico, 4 tanque aniónico, 5 tanque de NaOH, 6 caudalímetro y 7 visor (Gómez, 1996).

### 8.1.8 Un proceso de intercambio iónico alternativo

Este proceso está diseñado con el fin de reducir el consumo de agentes químicos de regeneración y conseguir una situación más aceptable en las aguas residuales de la planta de desmineralización entre otros factores, la figura 11 muestra el proceso (Gómez, 1996).



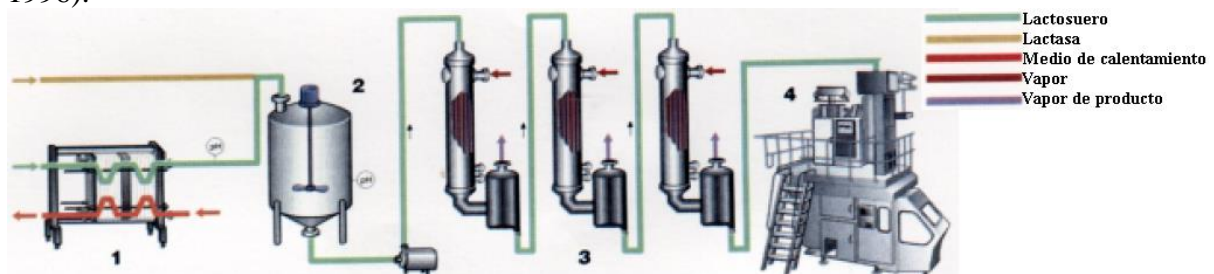
**Figura 11. Diagrama de flujo de una planta de gran capacidad de producción para desmineralización de lactosuero en polvo (A: intercambiador aniónico y C: intercambiador catiónico).**

Fuente: (Gómez, 1996).

El proceso SMR (reformado de metano con vapor) consiste en: 1 intercambiadores iónicos de tratamiento de lactosuero, 2 condensador, 3 evaporador, 4 torre de absorción, 5 tanque para solución nueva de regeneración, 6 intercambiadores iónicos en regeneración, 7 tanques para  $\text{NH}_3$  y  $\text{HCl}$ , 8 tanque para solución usada de regeneración, 9 torre de destilación, 10 atomizador y 11 ensacado (Gómez, 1996).

### 8.1.9 Hidrólisis de la lactosa

La hidrólisis de la lactosa se divide en la hidrólisis ácida y la hidrólisis enzimática como se muestra en la figura 12, la hidrólisis sirve para darle dulzura a la lactosa del lactosuero (Gómez, 1996).



**Figura 12. Planta de hidrólisis enzimática de la lactosa de lactosuero.**

Fuente: (Gómez, 1996).



El proceso de la hidrólisis enzimática consiste en: 1 pasteurizador, 2 tanque de hidrólisis, 3 evaporador y 4 envasado (Gómez, 1996).

## 8.2 SECTOR ENERGÉTICO

Por parte del sector energético los procesos de transformación se basan en diferentes procesos biotecnológicos como lo son los tipos de reactores (AFBR, ASTBR, CSTR, PBR, SBR, UASB, PABR, UFAF, FBR) y diferentes combinaciones de procesos, se observan en la tabla 2. Por ejemplo, para la DA termofílica del lactosuero se evaluó utilizando una configuración de una y dos etapas ( $H_2-CH_4$ ) en un reactor discontinuo de secuenciación (SBR) como se observa en la figura 13 (Fernández, et al., 2015).

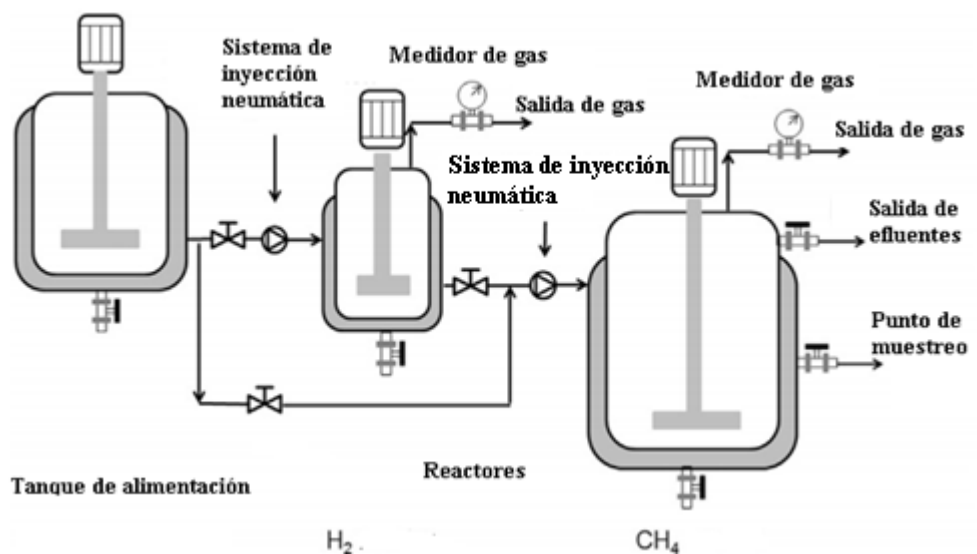


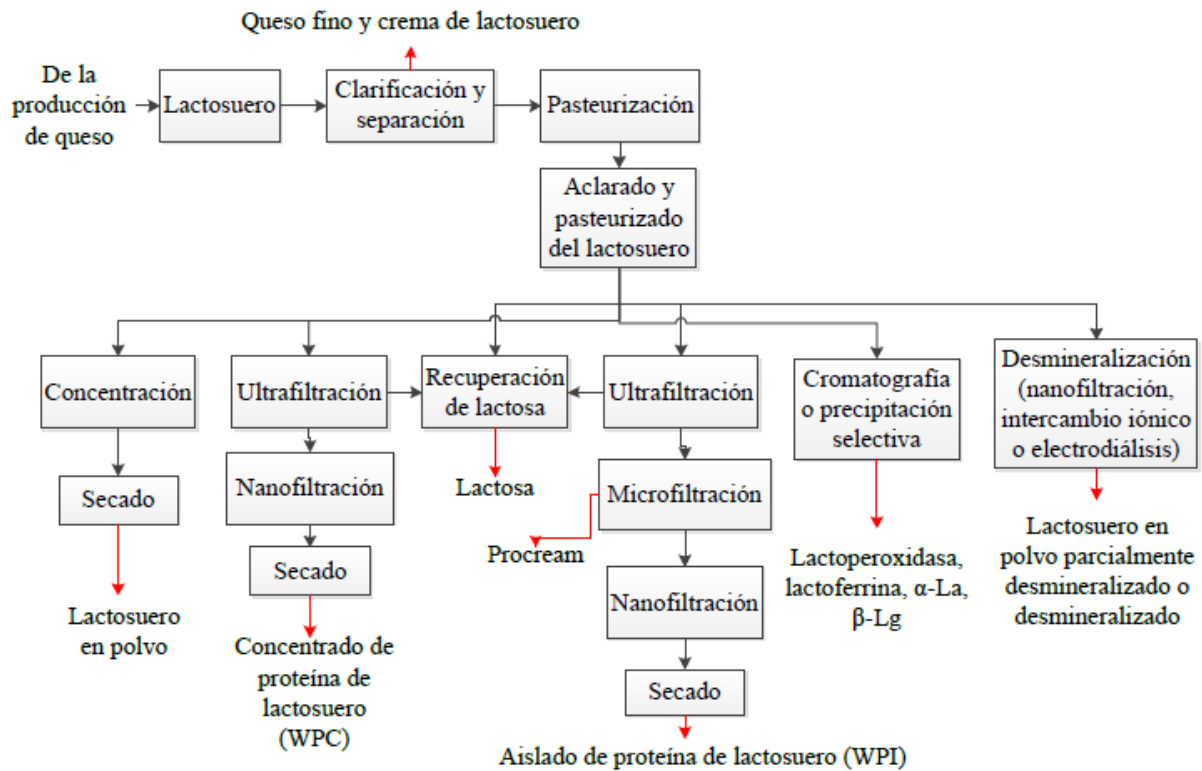
Figura 13. Descripción esquemática de la planta utilizada para procesos de digestión anaeróbica de una y dos etapas.

Fuente: (Fernández, et al., 2015).

El mejor uso de estos procesos es cuando son integrados, mejorando la producción. Entre otros tipos de procesos, se usa para producción de metano e hidrogeno el reactor de tanque agitado de flujo continuo (CSTR) para la fermentación oscura, y un reactor anaeróbico de lecho de lodo de flujo ascendente (UASB) para la metanogénesis (Cota-Navarro, et al., 2011).

## 8.3 SECTOR FARMACÉUTICO

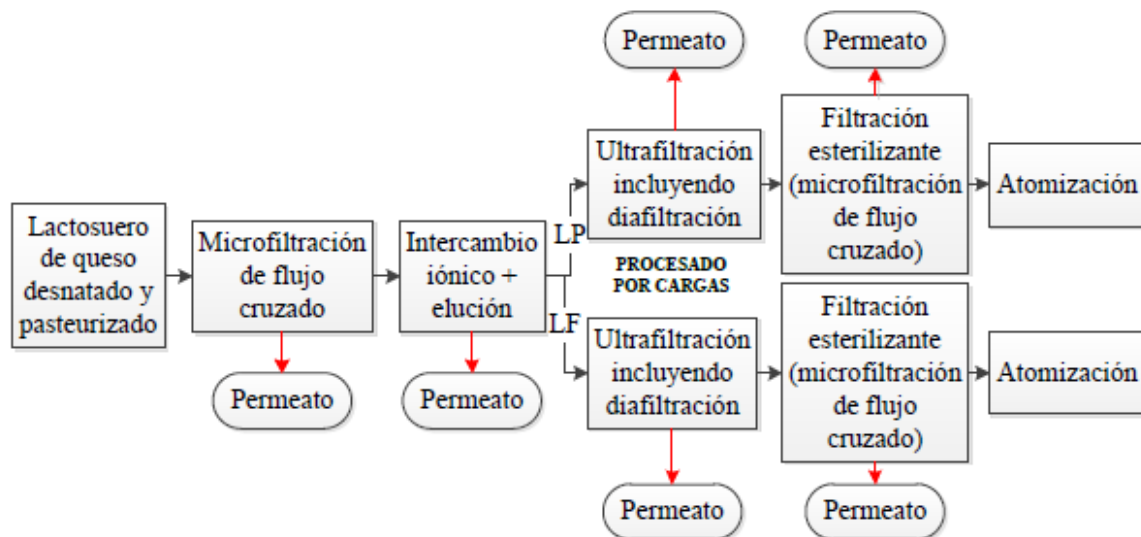
Para los tratamientos en el sector farmacéuticos se tienen algunos como se muestra en la figura 14, algunos procesos son semejantes al sector alimenticio por la producción de las proteínas del lactosuero. También estos procesos se basan en la producción de productos beneficiosos para la salud debido a su contenido en WPI (Mingrúo Guo, 2019).



**Figura 14. Procesamiento de los principales productos del lactosuero y proteína del lactosuero.**

Fuente: (Mingruo Guo, 2019).

Las técnicas de separación por membranas son: Nanofiltración (Se utiliza cuando se desea la desalinización parcial del lactosuero, el permeato de UF o el retentato), ultrafiltración (se usa para la concentración de las proteínas en la leche y en el lactosuero, también para la normalización proteica de la leche destinada a la fabricación de queso, yogurt y otros productos lácteos) y la microfiltración (se usa para la reducción del número de bacterias en la leche desnatada, lactosuero y salmueras, aunque también para la reducción de grasas en el lactosuero destinado a la fabricación de contenidos proteicos de lactosuero (CPL) y para el fraccionamiento de proteínas). Otros procesos son los de aislamiento cromatográfico de lactoperoxidasa y lactoferrina como se muestra en la figura 15, en donde ya se ha mencionado su importancia en apartados anteriores, como productos microbianos y demás aplicaciones. Este proceso es viable debido a que se tiene la necesidad de obtener un lactosuero libre de partículas (Gómez, 1996).



**Figura 15. Diagrama de bloques del proceso de aislamiento de lactoperoxidasa (LP) y lactoferrina (LF) del lactosuero.**

Fuente: (Gómez, 1996).

La reacción química es un proceso que sirve para que los productos nitrogenados no proteicos se puedan utilizar como reemplazantes parciales de las proteínas naturales en rumiantes (conseguir pienso equilibrado), la lactosil urea y el lactato amónico son los dos productos de este proceso de reacción química (Gómez, 1996). Otros procesos de transformación se han mencionado en el sector alimenticio, ya que sus proteínas son beneficiosas para este sector y los tratamientos que se le dan al lactosuero en el sector alimenticio pueden ser utilizados en este sector.

## **9. COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL LACTOSUERO**

### **9.1 IMPORTANCIA DEL LACTOSUERO**

Toda la importancia del lactosuero se habló anteriormente y las aplicaciones que se pueden implementar en Colombia, los proyectos se pueden analizar con profundidad aportando a la sostenibilidad del país. La información que se reporta por parte de las industrias en Colombia es: en septiembre de 2018 las exportaciones del lactosuero fueron de 33 toneladas de las 4.026 toneladas de la industria láctea (SIOC, 2018), también los principales productos importados durante el 2019 (período Ene-Ago) (en US\$) son leche en polvo descremada (42%), leche en polvo entera (31%), quesos (16%) y lactosueros (8%) con 10.451 toneladas netas importadas por otro lado la participación en la economía del sector lácteo en Colombia en PIB pecuario fue del 36,7%, las importaciones del lactosuero son muy grandes como ya se había mencionado

(SIOC, 2019). Los resultados demuestran que las empresas colombianas prefieren importar más lactosuero del exterior que comprarles a los campesinos, y este es un gran error debido a la capacidad que se tiene en el país (Camargo, 2020). Esta valorización es beneficiosa porque mejora el mal manejo que la industria láctea le da al lactosuero, como lo es adicionando a la leche, causando su adulteración para después venderla como un producto puro, ya que es un acto de corrupción y de delincuencia contra los niños, las madres gestantes y los consumidores de leche (J. López, 2020). Aumentaría la implementación de nuevos proyectos de sostenibilidad. Por otro lado, los estudios afectan parte de la moral para algunas personas, como el estudio previo en animales. Según el Dr. *J. M. López, (2010)* el método de análisis se desarrolla contrastando los principios básicos de la ética: Beneficencia, No maleficencia, Justicia y Autonomía con los distintos elementos envueltos en el acto de solicitar exámenes de ayuda diagnóstica, que ayudan a prevenir y aliviar las enfermedades antes descritas. La DQO y DBO disminuye con la implementación de los procesos de transformación, también disminuye la emisión de gases de efecto invernadero. Se ahorraría la energía consumida por las empresas, ya que ellas mismas producirían una parte de esta. Los sectores alimenticio y farmacéutico se asemejan en cuanto a los procesos de obtención de proteínas, lo que haría rentable la obtención de estos productos y serían uno de los procesos más rentables. El manejo de estos procesos innovadores sería casi igual de beneficiosos para los 3 sectores, la prevención es importante en cuanto a los desechos que producen los tratamientos que se le daría al lactosuero en Colombia, ya que todo proceso tiene su nivel de contaminación. La cantidad de procesos que existen disponibles lo hace rentable. Las industrias tienen diferentes tratamientos los cuales se pueden tratar el lactosuero para obtener los productos derivados. Los procesos integrados se han observado como superiores para la implementación en la industria. Varios procesos integrados obtienen diferentes cantidades del producto deseado, esto indica que se puede implementar el proceso que más se ajuste. Varios aspectos se discuten y se comparan los procesos para la valorización del lactosuero, se pueden observar en la tabla 3 para la parte tecnológica, económica y ambiental.



**Tabla 3. Comparación de los procesos teniendo en cuenta los aspectos tecnológicos, económicos, ambientales y sociales.**

Na: Información no encontrada.

<b>Procesos</b>	<b>Aspectos tecnológicos</b>	<b>Aspectos económicos</b>	<b>Aspectos ambientales</b>
Fermentación oscura	Es el núcleo de la combinación de los tratamientos integrados. El TRL es de 4-5. Los reactores FBR y SBR son mejores que los CSTR para este proceso.	El tamaño del mercado global (€): $124,4 \times 10^9$ (2018). No se debe usar cultivos puros ya que aumenta el costo operativo.	La eliminación de DQO es de >82%.
Digestion anaeróbica	La DA es el proceso más aplicado en los efluentes lácteos fermentados. El TRL es de 9.	El tamaño del mercado global (€): $1,4 \times 10^9$ (2017). El proceso es mejor con dos etapas, pero aumentaría su costo.	El reactor AFBR es el muy eficiente en cuanto a la eliminación de DQO, con 214l/DQO lactosa.
Fermentación de etanol	Se usa reactores FBR continuos, obteniendo mayor productividad de etanol.	Puede reemplazar los combustibles fósiles.	Alta producción de bioetanol.
Combinación de DA y DF	El proceso requiere un control debido a la de pH y volúmenes del reactor.	La combinación de estos dos procesos es cara debido al tipo de control.	Tienen grandes eficiencias de eliminación de DQO (>80%).
MEC y MFC	Aun en desarrollo El TRL es 3-4. No son competitivos con la energía solar y eólica.	Alto costo en la producción.	Tiene alta eliminación de DQO, algunas con un 95%.
Procesos integrados	Son procesos con alta eficiencia en la producción y no se limita a un solo producto.	Los costos de operación son bajos, ya que no el tiempo de producción es bajo (mínimo 6h).	La eliminación es alta de DQO (92%, el dato mayor es una fermentación oscura y metanogénesis).

Ultrafiltración	Es útil para concentrar y obtener una buena cantidad de sólidos.	La cantidad de sólidos hasta un 25% es económica para la operación.	Eliminación de DQO del 85%.
Microfiltración	Reduce el contenido de grasa del CPS (80-85%) en polvo desde el 7,2% al 0,4%.	Na	Eliminación de DQO del 85%.
Nanofiltración	Gracias a este proceso se puede desmineralizar parcialmente el lactosuero	Es una alternativa de bajo costo para disminuir el sabor salado del lactosuero dulce	En el proceso se debe controlar la lactosa para evitar problemas con las DQO.

Fuente: Elaboración propia.

## **10. CONCLUSIONES**

Se realizó un estudio analítico de los procesos innovadores para darle un valor agregado al lactosuero producido en Colombia, siendo este producido en grandes cantidades. Los sectores que tiene aplicación el lactosuero fueron descritos en esta monografía como: el sector alimenticio, el sector energético y el sector farmacéutico, los procesos aplicativos de estos tres sectores se determinaron con el uso de las investigaciones realizadas al respecto, dando claridad el avance que llevan en otros países y también se comparó los aspectos económicos, ambientales, tecnológicos y sociales con respecto al lactosuero, dando a conocer que todos tienen un gran campo de acción, y que muchas problemáticas se asemejan entre sí. Los procesos han sido muy promisorios para los países como Nueva Zelanda, Irlanda, EEUU entre otros, en Colombia el tratamiento del lactosuero en energía es una opción muy viable, pero en cuanto a las necesidades nutricionales y con respecto al aspecto económico, es mejor los procesos para la obtención de suplementos deportivos y nutricionales, ya que sería un buen producto con alta demanda, en cuanto al aspecto tecnológico y ambiental, los mejores procesos son los procesos integrados para la obtención de energía. La información en cuanto al sector farmacéutico es bastante amplia para EEUU con sus productos ya sacados al mercado. Se plantean suposiciones sobre proyectos para la transformación del lactosuero en Colombia, pero no se han llevado a cabo o se ha dado una información relevante. En comparación con los otros procesos, los procesos integrados se han observado como superiores para la implementación en la industria en Colombia por su alta eliminación de DQO.

## **11. RECOMENDACIONES**

El documento de monografías se desarrolló con el objetivo de ser una fuente de futuras investigaciones, se recomienda:

- Realizar investigaciones de las empresas lácteas en Colombia más a detalle, haciendo una visita industrial como ejemplo
- Hacer investigaciones sobre la producción de fármacos en Colombia ya que en promedio son caros en cuanto al precio, con esto las personas obtendrían este producto de su interés a un mejor precio.
- Se recomienda aplicar los diferentes procesos descritos en todos los sectores a gran escala en Colombia.

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, S., Santos, R., Moreira, C., Vale, S., Santos, P. C., Soares-Miranda, L., Marques, A. I., Mota, J., & Moreira, P. (2012). Association between dairy product intake and abdominal obesity in Azorean adolescents. *European Journal of Clinical Nutrition*, 66(7), 830–835.
- Ali, A., Lee, S. J., & Rutherford-Markwick, K. J. (2018). Sports and exercise supplements. In *Whey Proteins: From Milk to Medicine* (pp. 579–635). Elsevier Inc.
- Asunis, F., De Gioannis, G., Dessì, P., Isipato, M., Lens, P. N. L., Muntoni, A., Poletini, A., Pomi, R., Rossi, A., & Spiga, D. (2020a). The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorisation. *Journal of Environmental Management*, 276(June), 111240.
- Asunis, F., De Gioannis, G., Dessì, P., Isipato, M., Lens, P. N. L., Muntoni, A., Poletini, A., Pomi, R., Rossi, A., & Spiga, D. (2020b). The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorisation. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 276, p. 111240). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111240>
- Athira, S., Mann, B., Sharma, R., & Kumar, R. (2013). Ameliorative potential of whey protein hydrolysate against paracetamol-induced oxidative stress. *Journal of Dairy Science*, 96(3), 1431–1437.
- Attaallah, W., Yılmaz, A. M., Erdoğan, N., Yalçın, A. S., & Aktan, A. Ö. (2012). Whey protein versus whey protein hydrolyzate for the protection of azoxymethane and dextran sodium sulfate induced colonic tumors in rats. *Pathology and Oncology Research*, 18(4), 817–822.
- Bertin, L., Grilli, S., Spagni, A., & Fava, F. (2013). Innovative two-stage anaerobic process for effective codigestion of cheese whey and cattle manure. *Bioresource Technology*, 128, 779–783.
- Bogel-Lukasik, M. and R. (2013). Green chemistry and the biorefinery concept. *RSC Green Chemistry*, 1–24.
- Boland, M. (2011). Whey protein. In *Handbook of food proteins* (Vol. 13, Issue 4, pp. 30–55). Woodhead Publishing Limited.
- Brew, K. (2011). Milk Proteins:  $\alpha$ -Lactalbumin. *Encyclopedia of Dairy Sciences: Second Edition*, 3, 780–786.
- Brew, K. (2013).  $\alpha$ -Lactalbumin In P. L. H. McSweeney, & P. F. Fox (Eds.). In *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1A: Proteins: Basic Aspects, 4th Edition* (Vol. 1, pp. 261–273).
- Camargo, J. (2020). *Multinacionales prefieren importar 30 mil toneladas de productos lácteos que comprarle a los colombianos*. Soy Campesino. <https://soycampesino.org>
- Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the Total Environment*, 445–446, 385–396.
- Chen, Z., Luo, J., Chen, X., Hang, X., Shen, F., & Wan, Y. (2016). Fully recycling dairy wastewater by an integrated isoelectric precipitation-nanofiltration-anaerobic

fermentation process. *Chemical Engineering Journal*, 283, 476–485.

- Claeys, W. L., Verraes, C., Cardoen, S., De Block, J., Huyghebaert, A., Raes, K., Dewettinck, K., & Herman, L. (2014). Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food Control*, 42, 188–201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.01.045>
- Colombo, B., Villegas Calvo, M., Pepè Sciarria, T., Scaglia, B., Savio Kizito, S., D'Imporzano, G., & Adani, F. (2019). Biohydrogen and polyhydroxyalkanoates (PHA) as products of a two-steps bioprocess from deproteinized dairy wastes. *Waste Management*, 95, 22–31.
- Consulting, U. (2015). *The world lactoferrin and lactoperoxidase market*. <https://ubic-consulting.com>
- Cota-Navarro, C. B., Carrillo-Reyes, J., Davila-Vazquez, G., Alatraste-Mondragón, F., & Razo-Flores, E. (2011). Continuous hydrogen and methane production in a two-stage cheese whey fermentation system. *Water Science and Technology*, 64(2), 367–374.
- Cruzat, V. F., Krause, M., & Newsholme, P. (2014). Amino acid supplementation and impact on immune function in the context of exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(1), 1–13.
- Das, M., Raychaudhuri, A., & Ghosh, S. K. (2016). Supply Chain of Bioethanol Production from Whey: A Review. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 833–846.
- Deeth, H., & Bansal, N. (2018). Whey Proteins: An Overview. In *Whey Proteins: From Milk to Medicine* (pp. 1–50). Elsevier Inc.
- Deeth, H. C., & Lewis, M. J. (2017). High Temperature Processing of Milk and Milk Products. In *High Temperature Processing of Milk and Milk Products*.
- Diaz, J. (2019). *Lactosueros en Colombia, uso e impactos*. Grupo Técnico de Alimentos y Bebidas INVIMA. <https://www.invima.gov.co>
- Díaz, V. P. (2020). *El INVIMA no tenía los equipos para poder determinar trazas de lactosueros en productos*. La Republica. <https://www.agronegocios.co>
- Faucher, M., Perreault, V., Gaaloul, S., & Bazinet, L. (2020). Defatting of sweet whey by electro dialysis with bipolar membranes: Effect of protein concentration factor. *Separation and Purification Technology*, 251(March), 117248.
- FEDEGAN. (2019). *Producción de leche*. Federación Colombiana de Ganaderos. <https://www.fedegan.org.co>
- Fernández, C., Cuetos, M. J., Martínez, E. J., & Gómez, X. (2015). Thermophilic anaerobic digestion of cheese whey: Coupling H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> production. *Biomass and Bioenergy*, 81, 55–62.
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2016). Whey and Whey Products. In *Fundamentals of Cheese Science, Second Edition* (pp. 755–769).
- Gabardo, S., Rech, R., Rosa, C. A., & Ayub, M. A. Ô. Z. (2014). Dynamics of ethanol production from whey and whey permeate by immobilized strains of *Kluyveromyces marxianus* in batch and continuous bioreactors. *Renewable Energy*, 69, 89–96.

- Golzar, F.A.K., Vatani, D.S., Mojtahedi, H. et al. (2012). The effects of whey protein isolate supplementation and resistance training on cardiovascular risk factors in overweight young men. *Journal of Isfahan Medical School*, 30(181), 289–301.
- Gómez, A. L. (1996). *Manual de industrias lácteas* (A. Madrid Vicente (ed.)). Tetra Pak.
- Gómez Soto, J. A., & Sánchez Toro, Ó. J. (2019). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. Una revisión. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(1), 129–158.
- Guimarães, P. M. R., Teixeira, J. A., & Domingues, L. (2010). Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. *Biotechnology Advances*, 28(3), 375–384.
- Gunnerud, U., Holst, J. J., Stman, E., & Björck, I. (2012). The glycemic, insulinemic and plasma amino acid responses to equi-carbohydrate milk meals, A pilot- study of bovine and human milk. *Nutrition Journal*, 11(1), 1–9.
- Guo, M. (2014). Chemical composition of human milk. In *Human Milk Biochemistry and Infant Formula Manufacturing Technology* (pp. 19–32). Woodhead Publishing Limited.
- Hoefle, A. S., Bangert, A. M., Stamford, A., Gedrich, K., Rist, M. J., Lee, Y. M., Skurk, T., & Daniel, H. (2015). Metabolic responses of healthy or prediabetic adults to bovine whey protein and sodium caseinate do not differ. *Journal of Nutrition*, 145(3), 467–475.
- Industria y Comercio Superintendencia. (2013). Uso del suero de leche en alimentos y sus sustitutos. *Boletín Tecnológico*, 122.
- Konrad, G., Kleinschmidt, T., & Faber, W. (2012). Ultrafiltration flux of acid whey obtained by lactic acid fermentation. *International Dairy Journal*, 22(1), 73–77.
- Kothari, R., Kumar, V., Pathak, V. V., & Tyagi, V. V. (2017). Sequential hydrogen and methane production with simultaneous treatment of dairy industry wastewater: Bioenergy profit approach. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(8), 4870–4879.
- Kramski, M., Center, R. J., Wheatley, A. K., Jacobson, J. C., Alexander, M. R., Rawlin, G., & Purcell, D. F. J. (2012). Hyperimmune bovine colostrum as a low-cost, large-scale source of antibodies with broad neutralizing activity for HIV-1 envelope with potential use in microbicides. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 56(8), 4310–4319.
- Libre, M. (2021). *Whey*. Mercado Libre LTDA. <https://www.mercadolibre.com.co/>
- Lievore, P., Simões, D. R. S., Silva, K. M., Drunkler, N. L., Barana, A. C., Nogueira, A., & Demiate, I. M. (2015). Chemical characterisation and application of acid whey in fermented milk. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 2083–2092.
- López, J. (2020). *Listo un nuevo laboratorio para analizar pruebas que detecten exceso de lactosuero*. Editorial La Republica S.A.S; La Revista. <https://www.agronegocios.co>
- López, J. M. (2010). Una reflexión ética, desde la práctica clínica, sobre los exámenes clínicos y los procedimientos de apoyo diagnóstico. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 21(5), 851–854.
- Maciel, K. S., Santos, L. S., Bonomo, R. C. F., Verissimo, L. A. A., Minim, V. P. R., & Minim,

- L. A. (2020). Purification of lactoferrin from sweet whey using ultrafiltration followed by expanded bed chromatography. *Separation and Purification Technology*, 251, 117324.
- Macwan, S. R., Dabhi, B. K., Parmar, S. C., & Aparnathi, K. D. (2016). Whey and its Utilization. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(8), 134–155.
- Majorek, K. A., Porebski, P. J., Dayal, A., Zimmerman, M. D., Jablonska, K., Stewart, A. J., Chruszcz, M., & Minor, W. (2012). Structural and immunologic characterization of bovine, horse, and rabbit serum albumins. *Molecular Immunology*, 52(3–4), 174–182.
- Mangano, K. M., Bao, Y., & Zhao, and C. (2019). Nutritional Properties of Whey Proteins. In 1 (Ed.), *Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications* (pp. 103–140). John Wiley & Sons Ltd.
- Mano, J., Liu, N., Hammond, J. H., Currie, D. H., & Stephanopoulos, G. (2020). Engineering *Yarrowia lipolytica* for the utilization of acid whey. *Metabolic Engineering*, 57, 43–50.
- Marnila, P., & Korhonen, H. (2011). Immunoglobulins. *Encyclopedia of Dairy Sciences, Volume 2*, 808–815.
- Marone, A., Ayala-Campos, O. R., Trably, E., Carmona-Martínez, A. A., Moscoviz, R., Latrille, E., Steyer, J. P., Alcaraz-Gonzalez, V., & Bernet, N. (2017). Coupling dark fermentation and microbial electrolysis to enhance bio-hydrogen production from agro-industrial wastewaters and by-products in a bio-refinery framework. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(3), 1609–1621.
- Martin, P., Cebo, C., & Miranda, G. (2013). Interspecies comparison of milk proteins: quantitative variability and molecular diversity. In P. L. H. McSweeney, & P. F. Fox. In *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1A: Proteins: Basic Aspects, 4th Edition* (Vol. 1, pp. 387–429).
- Mingrui Guo, and C. W. (2019). Chemistry of Whey Proteins. In Mingrui Guo (Ed.), *Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications* (1st ed., pp. 39–65). John Wiley & Sons Ltd.
- Moreno, R., Escapa, A., Cara, J., Carracedo, B., & Gómez, X. (2015). A two-stage process for hydrogen production from cheese whey: Integration of dark fermentation and biocatalyzed electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(1), 168–175.
- Mousan, G., & Kamat, D. (2016). Cow's Milk Protein Allergy. *Clinical Pediatrics*, 55(11), 1054–1063.
- Negocios, E. y. (2020). *Se inicia rastreo a la leche para saber si hay exceso de lactosuero*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com>
- O'Mahony, J. A., & Fox, P. F. (2013). Milk proteins: Introduction and historical aspects. In *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1A: Proteins: Basic Aspects, 4th Edition* (Vol. 1, pp. 43–85).
- Oftedal, O. T. (2013). Origin and evolution of the major constituents of milk. In P. L. H. McSweeney, & P. F. In *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1A: Proteins: Basic Aspects, 4th Edition* (Vol. 1, pp. 1–42).

- Panahi, S. (2014). *Milk and its Components in the Regulation of Short-term Appetite, Food Intake and Glycemia in Young Adults* [University of Toronto]. Doctoral Theses
- Patel, H., & Patel, S. (2015). *Understanding the role of dairy proteins in ingredient and product performance*. Think USA Dairy. <https://www.thinkusadairy.org/nutrition-and-medical-products/medical-nutrition>
- Price, J. (2018). History of the development and application of whey protein products. In *Whey Proteins: From Milk to Medicine*. Elsevier Inc.
- Prussick, R., Prussick, L., & Gutman, J. (2013). Psoriasis Improvement in Patients Using Glutathione-enhancing, Nondenatured Whey Protein Isolate: A Pilot Study. *The Journal of Clinical & Aesthetic Dermatology*, 23–26.
- Rago, L., Baeza, J. A., & Guisasola, A. (2017). Bioelectrochemical hydrogen production with cheese whey as sole substrate. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 92(1), 173–179.
- Rai, P. K., Singh, S. P., & Asthana, R. K. (2012). Biohydrogen production from cheese whey wastewater in a two-step anaerobic process. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 167(6), 1540–1549.
- Sato, S., Kurihara, T., Ando, S., & Fujimoto, I. (2008). Optical vortex and correlation image sensor for networked deformation sensing of infrastructures. *Proceedings of INSS 2008 - 5th International Conference on Networked Sensing Systems*, 39–42. <https://doi.org/10.1109/INSS.2008.4610894>
- Sawyer, L. (2013).  $\beta$ -Lactoglobulin. In P. L. H. McSweeney, & P. F. Fox. In *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1A: Proteins: Basic Aspects, 4th Edition* (Vol. 1, pp. 211–259).
- Schroer, A. B., Saunders, M. J., Baur, D. A., Womack, C. J., & Luden, N. D. (2014). Cycling time trial performance may be impaired by whey protein and L-Alanine intake during prolonged exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(5), 507–515.
- Selvaggi, M., Laudadio, V., Dario, C., & Tufarelli, V. (2014). Investigating the genetic polymorphism of sheep milk proteins: A useful tool for dairy production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(15), 3090–3099.
- Sharma, R. (2018). Whey proteins in functional foods. In *Whey Proteins: From Milk to Medicine* (pp. 637–663). Elsevier Inc.
- SIOC. (2018). *Cadenas productivas, cadena láctea. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas*. <https://sioc.minagricultura.gov.co>
- SIOC. (2019). *Cadenas productivas, cadena Láctea. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas*. <https://sioc.minagricultura.gov.co>
- SMARTCOL. (2020). *Suero de leche*. Smartcol. <https://smartcol.com.co>
- Solórzano, L. S. (2020). *Conozca cómo es la regulación sobre el uso del lactosuero en países de México, Perú y Colombia*. La Republica. <https://www.agronegocios.co>
- Tahavorgar, A., Vafa, M., Shidfar, F., Gohari, M., & Heydari, I. (2015). Beneficial effects of



whey protein preloads on some cardiovascular diseases risk factors of overweight and obese men are stronger than soy protein preloads - A randomized clinical trial. *Journal of Nutrition and Intermediary Metabolism*, 2(3–4), 69–75.

Traversi, D., Bonetta, S., Degan, R., Villa, S., Porfido, A., Bellerio, M., Carraro, E., & Gilli, G. (2013). Environmental Advances Due to the Integration of Food Industries and Anaerobic Digestion for Biogas Production: Perspectives of the Italian Milk and Dairy Product Sector. *Bioenergy Research*, 6(3), 851–863.

Wildová, E. and Anděl, M. (2013). Casein and whey proteins are the physiological stimuli of the insulin secretion. *Diabetologie Metabolismus Endokrinologie Vyziva*, 16, 179–185.

Wróblewska, B., & Kaliszewska, A. (2012). Cow's milk proteins immunoreactivity and allergenicity in processed food. *Czech Journal of Food Sciences*, 30(3), 211–219.

Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, 33(6), 756–774.