

Factibilidad preliminar del proceso de obtención de ácido láctico y sus sales, a partir de
lactosuero ácido a escala piloto industrial

Andrés Fabián Pinilla González y Thalía Jennifer Páez Alarcón

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Químico
Modalidad Investigación

Director:

Carlos Jesús Muvdi Nova

Doctor en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander
Faculta de Ingenierías Fisicoquímicas
Escuela de Ingeniería Química
Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Dedicamos este logro a nuestros padres, quienes con su amor, sacrificio y esfuerzo nos han dado las herramientas y oportunidades necesarias para alcanzar nuestras metas. Su ejemplo y dedicación siempre han sido nuestra mayor inspiración.

A nuestras abuelas, por su cariño, sabiduría y enseñanzas, que nos han acompañado a lo largo de nuestra vida y nos han mostrado el verdadero significado de la familia y el amor incondicional.

Finalmente, dedicamos este trabajo a Dios, por ser nuestra fuente de fortaleza, guía y esperanza en todo momento.

Agradecimiento

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte de este camino y cuyo apoyo fue esencial para la culminación de este trabajo.

En primer lugar, agradecemos a Dios por darnos la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para afrontar cada desafío. Sin su guía y protección, este logro no habría sido posible.

A nuestras familias, por su amor incondicional y constante aliento a lo largo de esta travesía académica. Su fe en nosotros nos dio el coraje para continuar, incluso en los momentos más difíciles.

A nuestros amigos, por estar siempre presentes, brindándonos su compañía, comprensión y apoyo cuando más lo necesitábamos. Su presencia fue un pilar fundamental en este proceso.

A nuestros profesores, quienes con su dedicación y conocimiento nos formaron y guiaron durante nuestra carrera académica. Sus enseñanzas han sido invaluable en nuestro desarrollo personal y profesional.

Al director de tesis, por su paciencia, orientación y valiosos consejos que nos ayudaron a mantenernos enfocados y a dar lo mejor de nosotros en cada etapa de este trabajo. Su apoyo fue clave para alcanzar este resultado.

Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
2. Marco teórico	13
2.1 Diagrama de flujo de procesos	13
2.2 Generalidades del lactosuero.....	14
4. Descripción metodológica	17
4.1 Fase I: Análisis del estudio de mercado, la oferta y demanda de materia prima y productos	17
4.2 Fase II: Desarrollo del estudio técnico para la producción a escala piloto industrial de ácido láctico y sus sales	18
4.3 Fase III: Delimitar la factibilidad preliminar del proceso mediante un estudio financiero de la producción de ácido láctico y sus sales	19
5. Análisis y discusión de resultados	20
5.1 Análisis del estudio de mercado, la oferta y demanda de materia prima y productos	20
5.1.1 Mercado del ácido láctico global.....	20
5.1.2 Oferta de lactosuero.....	21
5.1.3 Demanda de ácido láctico Nacional	22
5.1.4 Proyecciones en la demanda a nivel mundial de ácido láctico.....	24
5.1.5 Proyecciones en la oferta y demanda de ácido láctico en Colombia.....	25
5.1.6 Análisis de la proyección del precio del ácido láctico a nivel nacional	28
5.1.7 Demanda insatisfecha ácido láctico.....	29
5.2 Desarrollo del estudio técnico para la producción a escala piloto industrial de ácido láctico y sus sales	31
5.2.1 Ubicación de la planta	31
5.2.2 Capacidad de la planta.....	33
5.2.3 Análisis y heurística de diseño	36
5.2.5 Seguridad de procesos e impacto ambiental.....	51

5.3 Determinación de la factibilidad preliminar del proceso mediante un estudio financiero de la producción de ácido láctico y sus sales	59
5.3.1 Indicadores financieros.....	59
5.3.2 Inversiones.....	61
5.3.3 Operación.....	64
5.3.4 Presupuesto de producción	65
5.3.5 Flujo de caja.....	67
6. Conclusiones	68
7. Recomendaciones	69
Referencias Bibliográficas	71
Apéndices.....	74

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Producción nacional y exportaciones de ácido láctico en kg.....	23
Tabla 2. Proyección de precio de ácido láctico por Kg a nivel nacional	28
Tabla 3. Demanda nacional insatisfecha de ácido láctico en Kg	30
Tabla 4. Análisis factores ponderados	32
Tabla 5. Flujo de la fase 1	39
Tabla 6. Flujos de la fase 2	40
Tabla 7. Flujo de la fase 3	41
Tabla 8. Equipos asignados a cada una de las etapas del proceso	42
Tabla 9. Masa entrada del proceso.....	45
Tabla 10. Masa de salida del proceso	46
Tabla 11. Necesidades energéticas Totales de cada etapa del proceso.....	48
Tabla 12. Balance de energía de intercambiador de calor	49
Tabla 13. Balance de energía de intercambiador de calor	50
Tabla 14. Balance de energía de Tanque de inoculación.....	50
Tabla 15. Análisis HAZOP al tanque de fermentación normal de vaciado/llenado	53
Tabla 16. Análisis HAZOP al encamisado de refrigeración en situación de funcionamiento/reacción.....	55
Tabla 17. Análisis HAZOP al tanque de fermentación en situación de funcionamiento/reacción.....	57
Tabla 18. Indicadores financieros de la producción de ácido láctico y sus sales	59
Tabla 19. Datos de entrada al proyecto de proceso de obtención de ácido láctico.....	60
Tabla 20. Presupuesto de inversiones de la producción de ácido láctico y sus sales	62
Tabla 21. Presupuesto de inversiones de maquinaria	63
Tabla 22. Costos de operación de la producción de ácido láctico y sus sales	64
Tabla 23. Presupuestos de producción de la producción de ácido láctico y sus sales	66
Tabla 24. Flujo de caja de la producción de ácido láctico y sus sales	67

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Países importadores de ácido láctico a nivel mundial	21
Figura 2. <i>Importaciones nacionales de ácido láctico en kg</i>	24
Figura 3. <i>Pronóstico global del mercado del ácido láctico para 2028 (USD BN)</i>	25
Figura 4. <i>Proyección nacional de la oferta de ácido láctico en kg</i>	27
Figura 5. <i>Proyección Nacional de la demanda de ácido láctico en kg</i>	27
Figura 6. <i>Proyecciones de precios de ácido láctico a nivel nacional</i>	29
Figura 7. <i>Demanda insatisfecha de ácido láctico</i>	30
Figura 8. Gráfica de sobre diseño	34
Figura 9. Diagrama simplificado del proceso	37
Figura 10. <i>Diagrama de flujos másicos totales simplificado del proceso</i>	38
Figura 11. <i>Flujos de entrada del proceso</i>	46
Figura 12. <i>Flujos de salida del proceso</i>	47

Glosario

Ácido Láctico: Compuesto orgánico de fórmula $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$, resultante de la fermentación de azúcares, utilizado en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética.

Bacterias Lácticas: Microorganismos como *Lactobacillus* y *Streptococcus*, responsables de la fermentación de lactosa en ácido láctico.

Bioreactor: Equipo utilizado para llevar a cabo la fermentación a escala controlada, optimizando las condiciones de crecimiento de las bacterias lácticas.

Escala Piloto Industrial: Nivel de producción que simula las condiciones de una planta industrial a menor escala, utilizada para evaluar la viabilidad técnica y económica de un proceso.

Escalado: Proceso de aumentar la capacidad de producción de un proceso desde el laboratorio a la escala industrial, manteniendo la eficiencia y calidad.

Evaluación de Mercado: Estudio de la demanda, competencia y oportunidades para el ácido láctico y sus sales en el mercado, determinando su potencial comercial.

Factibilidad Preliminar: Evaluación inicial de un proyecto que considera aspectos técnicos, económicos y de mercado para determinar su viabilidad antes de una inversión a gran escala.

Fermentación Láctica: Proceso biotecnológico en el que bacterias lácticas convierten la lactosa del lactosuero en ácido láctico.

Lactosuero: Subproducto líquido de la fabricación del queso, rico en lactosa, proteínas y minerales, utilizado como materia prima para obtener ácido láctico.

Optimización de Procesos: Técnicas aplicadas para mejorar la eficiencia, productividad y costos del proceso de obtención de ácido láctico.

Resumen

Título: Factibilidad preliminar del proceso de obtención de ácido láctico y sus sales, a partir de lactosuero ácido a escala piloto industrial*.

Autor: Andrés Fabián Pinilla González, Thalía Jennifer Páez Alarcón**.

Palabras Clave: Ácido Láctico, Escala Piloto Industrial, Factibilidad Preliminar, Fermentación Láctica, Lactosuero

Descripción:

El proyecto de grado se centra en el análisis de la factibilidad preliminar para obtener ácido láctico a partir de lactosuero ácido a escala piloto industrial. Incluye un estudio de mercado de la materia prima y productos, un análisis técnico para la producción a escala piloto y un estudio financiero. Las motivaciones surgen del crecimiento del sector lácteo, que genera como desecho lactosuero en la producción de quesos, una sustancia contaminante con alto valor nutricional si se utiliza adecuadamente. El lactosuero tiene un gran potencial como subproducto, y su aprovechamiento puede reducir el impacto ambiental. El mercado del ácido láctico en Colombia abarca varias industrias, con una demanda insatisfecha del 23,5% en 2020 y un crecimiento proyectado hasta 2030. Bucaramanga-Santander se identifica como la mejor ubicación para la planta, con resultados positivos para la viabilidad del proyecto. Sin embargo, al ser un proyecto piloto, puede ser poco rentable y vulnerable a las tasas de interés.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas Escuela de Ingeniería Química Director: Carlos Jesús Muvdi Nova Doctor en Ingeniería Química

Abstract

Title: Preliminary feasibility of the process for obtaining lactic acid and its salts from acid whey on an industrial pilot scale*.

Author: Andrés Fabián Pinilla González, Thalía Jennifer Páez Alarcón**.

Keywords: Lactic Acid, Industrial Pilot Scale, Preliminary Feasibility, Lactic Fermentation, Whey

Description:

The graduation project focuses on the preliminary feasibility analysis for obtaining lactic acid from acid whey on a pilot industrial scale. It includes a market study of raw materials and products, a technical analysis for pilot-scale production, and a financial assessment. The motivations stem from the growth of the dairy sector, which generates acid whey waste during cheese production—a pollutant with high nutritional value if utilized appropriately. Whey has substantial potential as a byproduct, and its use can help reduce environmental impact. The lactic acid market in Colombia spans several industries, with an unmet demand of 23.5% in 2020 and projected growth until 2030. Bucaramanga-Santander is identified as the best location for the plant, with positive results supporting the project's viability. However, as a pilot project, it may be marginally profitable and vulnerable to interest rate fluctuations

* Project of Grade

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas Escuela de Ingeniería Química Director: Carlos Jesús Muvdi Nova Doctor en Ingeniería Química

Introducción

El sector lácteo ha experimentado un crecimiento, que repercute en una mayor liberación de sustancias contaminantes, como lo es el lactosuero, el cual utilizado de la manera correcta posee un alto valor nutricional. Sin embargo, en la mayoría de las fábricas del país, solo se aprovecha una pequeña cantidad de lactosuero, y una importante porción del lactosuero es descartado como efluente sin ningún tipo de tratamiento (Ramírez, 2012). El ácido láctico y sus sales son uno de los bio-productos, derivados del lactosuero, con mayor volumen de producción a nivel mundial (Grand View Research, 2021). El gran potencial del lactosuero, como subproducto y la consecuencia de su desecho, son un factor importante para analizar el proceso de obtención de sus derivados para su aprovechamiento. Según el DANE, en Colombia se producen en promedio 1'205.129 litros anuales de lactosuero que provienen de la producción de quesos en general, según datos reportados desde 2015 hasta 2018 (DANE, 2020). Este trabajo de grado hace parte del proyecto MinCiencias “*Diseño de un proceso de producción y recuperación de lactato obtenido de la fermentación láctica de lactosuero procesado a escala piloto laboratorio*”, con Código Registro: 70590, apoyándonos en la solución al quinto objetivo específico del proyecto MinCiencias que busca establecer un esquema para la producción y la recuperación del lactato como producto de fermentación, mediante el análisis del proceso de obtención de ácido láctico, a partir de lactosuero ácido a escala piloto industrial. Proyecto liderado por los grupos de investigación CICTA de la UIS, y GIQTA de la UPTC.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar un análisis de la factibilidad preliminar del proceso a escala piloto industrial que permita la obtención de ácido láctico y sus sales a partir de lactosuero ácido.

1.2 Objetivos específicos

Analizar mediante un estudio de mercado la oferta y demanda de materia prima y productos.

Realizar un estudio técnico para la producción a escala piloto industrial de ácido láctico y sus sales.

Establecer la factibilidad preliminar del proceso mediante un estudio financiero de la producción de ácido láctico y sus sales.

2. Marco teórico

2.1 Diagrama de flujo de procesos

Un diagrama de flujo de procesos (PFD) es un tipo de diagrama que ilustra las relaciones entre los principales componentes de una planta industrial. Se usa ampliamente en los ámbitos de ingeniería química e ingeniería de procesos para documentar o mejorar un proceso, o modelar uno nuevo. Estos emplean un conjunto de símbolos y notaciones para describir un proceso. Los símbolos cambian en distintos lugares (Lucidchart, 2022). Cuando el diagrama necesita mostrar múltiples procesos de una unidad en una planta, se convierte en una visión general, que contiene menos detalle, denominadas "diagramas de bloques" y "diagramas de flujo esquemático". Por otro lado, un diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) describe detalles mecánicos para diseñadores de tuberías, ingenieros eléctricos, ingenieros de instrumentación y otros expertos técnicos que necesitan más estos detalles que los detalles de procesos. Los P&ID toman los aspectos conceptuales de un PFD y agregan detalles sobre el equipamiento, la secuencia del proceso, las tuberías de procesos y suministros, los conductos de derivación, los instrumentos, las válvulas, los conductos, los drenajes y otros elementos (Lucidchart, 2022). El diagrama simplificado de equipos es el diagrama de ingeniería donde se muestran los equipos esenciales y su interconexión de manera simplificada, representándose por líneas que enlazan los equipos entre sí, dentro de una planta de proceso (Houston,1979)

2.2 Generalidades del lactosuero

El lactosuero es un subproducto líquido obtenido después de la precipitación de la caseína durante la elaboración del queso. La lactosa es el principal componente nutritivo (4,5 % p/v), pero también posee proteínas (0,8% p/v), y lípidos (0,5%) (Poveda, 2013). La composición y tipo de lactosuero varía considerablemente dependiendo del tipo de leche, tipo de queso elaborado y el proceso de tecnología empleado. Según el tipo de coagulación de la caseína empleada en la fabricación quesera, se genera lactosuero dulce o lactosuero ácido. De la coagulación enzimática se obtiene el lactosuero dulce, con un pH entre 6.0 y 6.5, próximo al de la leche fresca; por otro lado, el 'lactosuero ácido' se obtiene tras la coagulación ácida de las caseínas a un $\text{pH} < 5$. Las principales diferencias entre los dos tipos de lactosuero radican en el contenido de minerales, acidez y la composición química de la fracción proteica; En el lactosuero dulce, la composición proteica incluye aproximadamente 50-55% beta-lactoglobulina y 15-25% alfa-lactoalbúmina. En contraste, el lactosuero ácido tiene un menor contenido de estas proteínas, con un aumento en péptidos y aminoácidos libres debido a la desnaturalización provocada por el pH más bajo (Panesar et al., 2007). El lactosuero se aprovecha como materia prima para la obtención de ácido láctico y sus sales, siendo el ácido láctico un compuesto higroscópico, orgánico, incoloro e inodoro, de baja volatilidad, utilizado en procesos alimenticios, farmacéuticos y químicos (Aso.Interciencia, 2017). Adicionalmente, los hidrolizados de proteína de lactosuero tienen potencial para ser usados como fuente de nitrógeno de bajo costo en la misma fermentación láctica (Juodeikiene et al., 2016). Existen varios métodos para la separación del ácido láctico obtenido por fermentación, como la precipitación, la extracción con solventes, la separación con membrana, la destilación directa, el intercambio iónico, y la electrodiálisis (Garavand et al., 2018).

3. Estado del arte

Los antecedentes en investigación del lactosuero ácido permiten determinar la forma como ha sido tratado el tema, su obtención, tratamiento, parámetros, modos de operación, avances investigativos y tendencias existentes, para el desarrollo de la problemática planteada. Este proyecto aporta a la solución al quinto objetivo específico del proyecto MinCiencias titulado “*Diseño de un proceso de producción y recuperación de lactato obtenido de la fermentación láctica de lactosuero procesado a escala piloto laboratorio*”, a partir de los resultados experimentales obtenidos durante distintas etapas del proyecto, centrados en el procesamiento y transformación de lactosuero ácido en sales de lactato, encabezado por los grupos de investigación CICTA de la UIS, y GIQTA de la UPTC. Dentro de los distintos trabajos realizados en el Grupo CICTA, Cáceres & Mora (2017) basan su trabajo en las etapas de iniciales del proceso, permitiendo el procesamiento de mayores volúmenes de suero ácido, y mostrando niveles bajos de turbidez. El trabajo realizado por González (2019) nos permite entender el proceso de pretratamiento del lactosuero ácido bruto, estableciendo las siguientes etapas: descremado, desproteínizado, clarificación y concentración. Los resultados permitieron plantear dos líneas de procesamiento en paralelo, pilares importantes en el proceso de fermentación láctica. Por un lado, se obtiene lactosuero procesado concentrado, bajo en proteínas y grasas, con una reducción del 40% en la proteína y del 96,5% en la turbidez referidas al lactosuero inicial. Este lactosuero entrará a las etapas de desalado, concentración y pulverizado (González, 2019). Por otro lado, se obtuvo el Requesón, cuyo hidrolizado procesado se utilizará como fuente de nitrógeno en el proceso fermentativo. Para ello, se realiza una hidrólisis con la enzima Gelzyme L500, a temperatura y pH,

de 60°C y 10, respectivamente. Aponte (2022) evaluó las condiciones del hidrolizado de proteínas del lactosuero como fuente de nitrógeno de bajo costo, que entran a una etapa de clarificación, mediante filtración con membranas cerámicas de umbral de corte de 50 nm, obteniendo un permeado rico en lactosa, con péptidos de bajo peso molecular y sales minerales. El filtrado resultante es sometido a un proceso de concentración, mediante evaporación de película descendente en vacío. Este hidrolizado concentrado pasa por secado por aspersión, permitiendo conservar y obtener un subproducto de alto valor nutricional, pudiendo utilizarse como materia prima para la industria alimentaria. Para este proyecto, será utilizado el esquema de producción de hidrolizados a partir de requesón como fuente de nitrógeno en la fermentación láctica (González, 2019). De esta manera, ambas operaciones en paralelo, se unen un el proceso de fermentación, relacionando su fuente de nitrógeno (hidrolizados del requesón), el lactosuero procesado pulverizado, con el cultivo *Lactobacillus casei*. Duarte (2019) muestra con sus resultados el interesante potencial que tienen los hidrolizados de proteína de lactosuero para ser usados como fuente de nitrógeno de bajo costo en la fermentación láctica. En esta etapa se adicionó CaCO₃ con el fin de mantener el pH, y de esta manera el crecimiento del cultivo no se afecte por la acidez del medio. Finalizando este proceso, se obtienen caldos de fermentación, ricos en lactato, que pasan por un proceso de clarificado (por filtración por membrana), desalado, y concentración por evaporación, para su posterior almacenamiento. Cedeño & Coronado (Coronado, 2023) en su implementación de un piloto de electrodiálisis, permite mostrar una técnica de desalado de soluciones en la industria láctea, aplicándose en las líneas de producción como la del lactosuero procesado, hidrolizados del requesón y caldos de fermentación. Este trabajo identifico dos cuellos de botella presentes, el primero se encuentra en la pérdida por separación de lactosa y ácido láctico. La pérdida se puede atribuir a la interacción con las membranas, pues este compuesto puede

atravesar por difusión las membranas. A si mismo el segundo cuello de botella, identificado durante el desarrollo del proyecto MinCiencias, está relacionado con el proceso de clarificación, donde se evidenció colmatación de las membranas. Esta situación llevaría a la propuesta de anteponer un proceso de separación de la biomasa, que mejore la etapa de filtración con membrana. Todos los antecedentes soportan el diseño del diagrama simplificado del proceso de obtención del lactosuero ácido, para su aprovechamiento como subproducto y de sus derivados, a escala piloto industrial.

4. Descripción metodológica

La ingeniería en procesos, diseño y análisis de producción son el área de acción de este estudio, para establecer la factibilidad preliminar de un proceso de producción de ácido láctico. Los conceptos específicos del trabajo se determinaron mediante el uso de métodos teórico-prácticos de escritos académicos de los grupos de investigación. De igual manera, se tomó como referencia la asignatura análisis de procesos-UIS, cod. 23233, donde se trabaja el *capstone design* en el marco de acreditación ABET.

4.1 Fase I: Análisis del estudio de mercado, la oferta y demanda de materia prima y productos

En esta fase se estimó el comportamiento de la oferta y la demanda, nichos de mercado, clientes potenciales y curvas de proyección, tanto de la materia prima como del producto de valor. La Demanda Insatisfecha (DI) se calculó utilizando la ecuación:

$$DI = \text{Demanda} - \text{Oferta} \quad (\text{Ec. 1})$$

Se buscó la disponibilidad tecnológica para cumplir con los aspectos ambientales y sociales, utilizando información publicada en fuentes bibliográficas de divulgación y científicas, nacionales e internacionales, teniendo en cuenta la disponibilidad, requerimientos, costos y precios de venta. Además, se hizo la proyección de la cantidad demandada de ácido láctico mediante el método de mínimos cuadrados, teniendo en cuenta datos de importaciones y necesidades nacionales.

4.2 Fase II: Desarrollo del estudio técnico para la producción a escala piloto industrial de ácido láctico y sus sales

En esta fase se determinaron los siguientes aspectos:

Localización: se determinó la ubicación de la planta teniendo en cuenta municipios de Boyacá y Santander mediante el método de Factores ponderados, teniendo en cuenta múltiples factores, como la disponibilidad de mano de obra, costos de transporte, acceso a materias primas y proximidad a mercados clave, entre otras.

Capacidad de la planta: se calculó mediante análisis matemáticos y revisiones bibliográficas, con el fin de cubrir las necesidades de este piloto industrial, y ser utilizado para el cubrimiento de la futura demanda de producción. Utilizando métodos de cálculos para las posibles expansiones como:

- Método de Rudd y Watson: se basa en un enfoque detallado de la capacidad de producción, teniendo en cuenta múltiples factores como la capacidad de los equipos, la disponibilidad de recursos y la eficiencia operativa.

- Método de Proyecciones: se centra en estimar la capacidad futura de la planta considerando factores como la demanda del mercado y las inversiones planificadas. Los resultados obtenidos indican: capacidad futura, factores de influencia e inversiones necesarias.

Se analizó el diagrama de flujo del proceso, su heurística de diseño considerando los elementos principales (pretratamiento, hidrólisis, fermentación, entre otros).

La seguridad del proceso se abordó mediante la gestión de información para verificar el cumplimiento de los estándares de seguridad considerando especificaciones técnicas y fichas de datos de seguridad (FDS), identificando peligros y análisis de riesgos mediante los análisis cualitativos como: *Process Hazard Analysis* (PHA) y *Hazard Assessment*, en los que se respondiéndolo a las preguntas: ¿Cuáles son los peligros?, ¿Qué podría salir mal y por qué?, ¿Con qué frecuencia podría ocurrir este escenario?, ¿Qué tan malo puede ser?

4.3 Fase III: Delimitar la factibilidad preliminar del proceso mediante un estudio financiero de la producción de ácido láctico y sus sales

Esta etapa se desarrolló de la siguiente manera:

- Se estimó el costo de compra de equipos e instalaciones que figuran en el PFD y posteriormente se estimó el coste total instalado.
- Se calculó el flujo de caja del proceso.
- Se determinaron los indicadores de evaluación de proyectos como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

5. Análisis y discusión de resultados

5.1 Análisis del estudio de mercado, la oferta y demanda de materia prima y productos

El objetivo de este análisis de mercado fue examinar en detalle la dinámica de oferta, demanda y la demanda insatisfecha en el mercado del lactosuero y el ácido láctico. Los resultados proporcionan información sobre la situación actual y las tendencias emergentes en esta industria.

5.1.1 Mercado del ácido láctico global

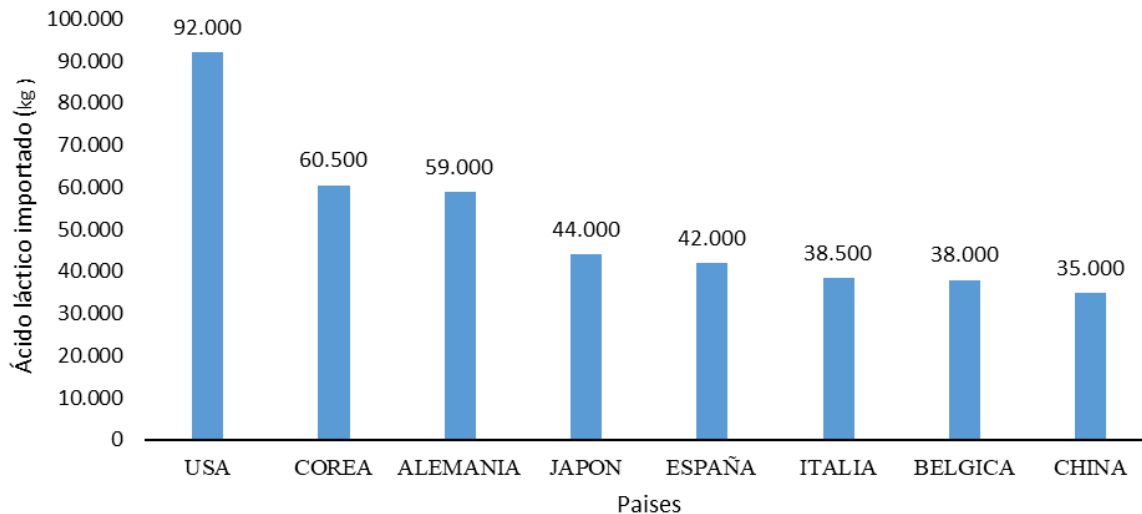
A nivel mundial, Estados Unidos lidera el consumo de ácido láctico, principalmente para producir PLA (ácido poliláctico) biodegradable en envases de alimentos. Le siguen Asia y Oceanía, donde se usa en alimentos y bebidas. Se proyecta que el mercado global del ácido láctico alcance \$5.020 millones en 2028, con un crecimiento anual del 8,0% de 2021 a 2028. Esto se debe a la creciente demanda en industrias como alimentos, bebidas y farmacéuticas, especialmente en economías emergentes como India, China e Indonesia (Grand View Research, 2021).

En cuanto a importaciones y exportaciones, según los datos de Trademap, los principales importadores de ácido láctico son Estados Unidos, Corea y Alemania, mientras que los principales exportadores son España, China y Tailandia (Trademap, 2020).

En América, según Torres (2016), la producción local no satisface la demanda, lo que la convierte en una región importadora significativa sin ser un gran exportador a nivel mundial. Los alimentos y bebidas, en el 2020, representaron el segundo segmento de aplicación más grande para

el ácido láctico. Este ácido es útil para mejorar el sabor y la vida útil de los alimentos y bebidas al controlar los microorganismos patógenos. Se espera que la demanda de este producto crezca, especialmente en las industrias de mariscos, aves y carne. Los principales países importadores de ácido láctico son: USA con 92.000 Kg, Corea 60.500 Kg, Alemania 59.000 Kg, Japón 44.000 Kg, España 42.000 Kg, Italia 38.500 Kg, Bélgica 38.000 Kg y China 35.000 Kg; En la **Figura 1** se presenta la información detallada sobre los Países importadores de ácido láctico a nivel mundial.

Figura 1. Países importadores de ácido láctico a nivel mundial



Nota. Tomado de: Cálculos del ITC basados en estadísticas de UN COMTRADE e del ITC.

Ilustración 1 Países importadores de ácido láctico a nivel mundial

5.1.2 Oferta de lactosuero

Se identificó que la oferta de lactosuero está influenciada por una combinación de factores, incluyendo la producción de leche, quesos, la tecnología de extracción y los procesos. Se observó un crecimiento constante en la producción de lactosuero debido a la expansión de la industria

láctea. Los mayores productores de leche en el mundo son Unión Europea, Estados Unidos, India, China, Rusia, Brasil, Nueva Zelanda y Reino Unido, adicionalmente, cabe mencionar que a nivel mundial se producen aproximadamente al año 536,1 millones de toneladas de leche (CLAL, 2023).

En Colombia, alrededor del 88% de la producción de leche cruda es absorbida por la industria de producción de subproductos lácteos en el país. Además, este sector económico ha alcanzado un crecimiento de 1.067 empresas vinculadas a nivel nacional, de las cuales 1.008 son microempresas. (Arguello, 2018). De acuerdo con las cifras de la Federación Colombiana de Ganaderos (2021), la producción de leche fue aproximadamente 375.490 L de leche al día en el departamento de Santander, de esta cantidad 330.437,56 L diarios son destinados para la fabricación de queso de los cuales se obtiene de este proceso 297.393,8 L de lactosuero al día. Mientras que en el departamento de Boyacá se tuvo una producción aproximada de 1'289.000 L al día de leche en Boyacá (Boyacá, 2023), de los cuales un 12% se destina a la industria para la producción de queso y otros derivados lácteos. Esto incluye principalmente quesos como el queso Paipa, que cuenta con denominación de origen. El resto de la producción se utiliza para el consumo directo de leche líquida.

5.1.3 Demanda de ácido láctico Nacional

La oferta de ácido láctico por parte de la industria nacional es casi nula, debido a que no se cuenta con una planta de producción de ácido láctico a nivel industrial; por ello, el ácido láctico utilizado en el país es importado (López-Cantor, 2016). Utilizando los datos de producción y exportación en kg de ácido láctico a nivel nacional, desde el año 2010 hasta el año 2019 se presentó un incremento porcentual de las exportaciones de ácido láctico. En el año 2010 el crecimiento fue

de 10,12% hasta llegar a el 2019 con una cifra de 71%, además de que en el año 2014 se presentó un aumento del 88,8%, y en el año 2017 un 118,29%. En la **Tabla 1** se presenta la información detallada sobre la producción nacional y exportaciones de ácido láctico en kg.

Tabla 1. Producción nacional y exportaciones de ácido láctico en kg

Año	Producción Nacional (kg)	Exportaciones (kg)	Porcentaje exportado
2010	9690	981	10,12%
2011	11190	1092	9,76%
2012	9030	1003	11,11%
2013	5990	1404	23,44%
2014	13755	12214	88,80%
2015	-	5618	-
2016	10575	5452	51,56%
2017	10210	12077	118,29%
2018	14027	4920	35,08%
2019	14419	10238,13	71,00%

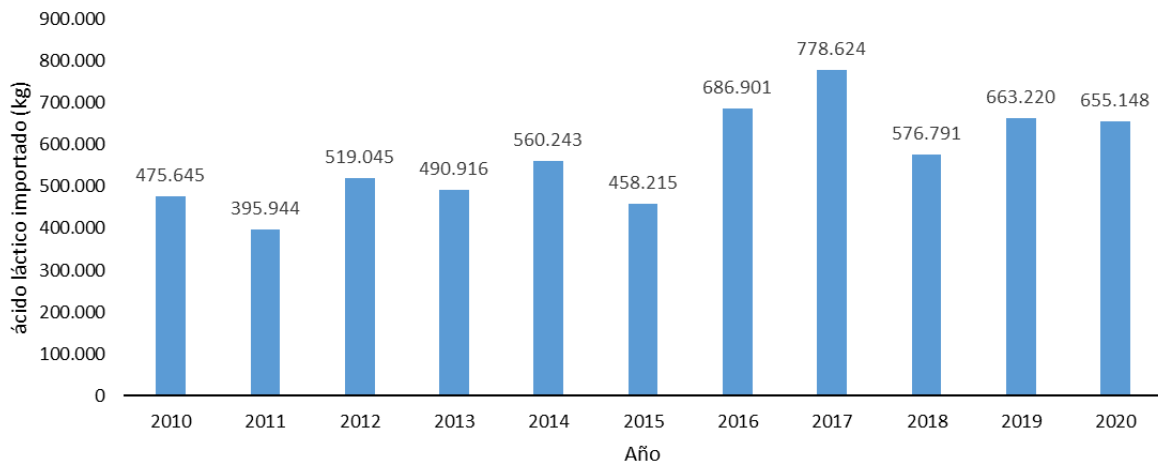
Nota. Tomado de: (DANE, 2023)

La demanda de ácido láctico experimentó un aumento significativo en los últimos años, impulsada principalmente por la creciente demanda de productos lácteos funcionales y saludables. La industria alimentaria, la industria de bebidas y la industria de cuidado personal son los principales consumidores de este producto. Actualmente, la demanda de ácido láctico ha aumentado como conservante y regulador de acidez.

Desde el año 2010 hasta el 2020 las importaciones de ácido láctico a nivel nacional han venido aumentando, en el año 2010 fue de 475.645 kg hasta llegar al año 2020 donde se alcanzaron

cifras de 655.148 kg en la **Figura 2** se encuentra la información detallada sobre las importaciones nacionales de ácido láctico en kg.

Figura 2. *Importaciones nacionales de ácido láctico en kg*

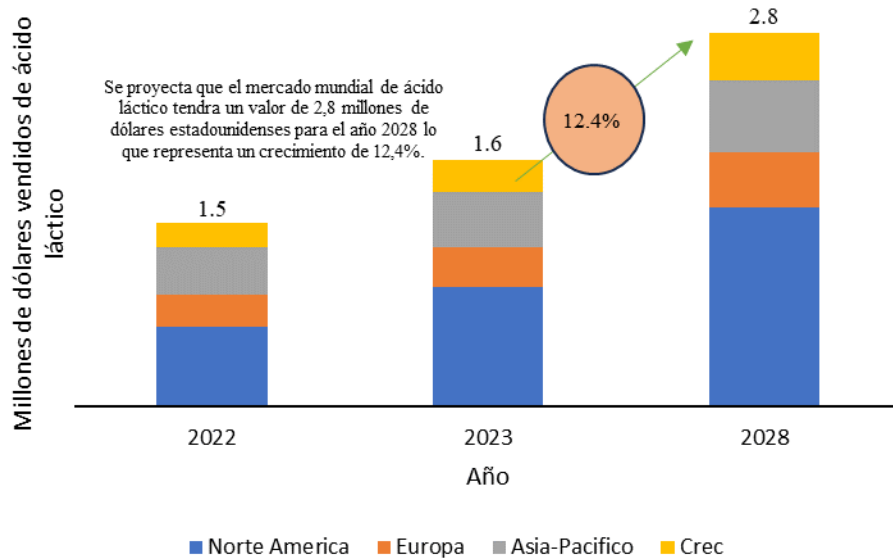


Nota. Tomado de: (DANE, 2023)

5.1.4 Proyecciones en la demanda a nivel mundial de ácido láctico

El pronóstico global de ventas (USD BN) de ácido láctico de Norte América, Europa, Asia-Pacífico se espera que crezca un 12,4% entre 2023 y 2028. Esto equivale a un aumento proyectado de 2.800 a 2.900 millones de dólares para 2028, tomando 2022 como base y analizando desde 2023 hasta 2028. En la **Figura 3** está la información detallada sobre el pronóstico global del mercado del ácido láctico para 2028 (USD BN).

Figura 3. *Pronóstico global del mercado del ácido láctico para 2028 (USD BN)*



Nota. Tomado de: (MarketsandMarkets, 2023)

Este crecimiento se atribuye principalmente al aumento constante en la demanda de productos renovables amigables con el medio ambiente. El ácido láctico es esencial en productos biodegradables como polímeros, además, los consumidores buscan más bebidas saludables y naturales, como jugos, refrescos, bebidas deportivas y lácteas. Estos factores están influyendo en el crecimiento del mercado del ácido láctico (MarketsandMarkets, 2023).

5.1.5 Proyecciones en la oferta y demanda de ácido láctico en Colombia

Se emplearon proyecciones utilizando el método de mínimos cuadrados. Se pudo encontrar la ecuación de una recta, lo que revela la tendencia de los datos a estudiar (Padilla, 2014).

$$y = a + bx \tag{Ec. 2}$$

Donde a y b son valores constantes que se deben calcular de la siguiente forma:

$$b = \frac{n \cdot \Sigma(n \cdot y) - (\Sigma x \cdot y)}{n \cdot \Sigma(x)^2 - (\Sigma x)^2} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$a = \frac{\Sigma y - b \cdot \Sigma x}{n} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde, n: número de datos a analizar; x: valores de tiempo o variable independiente; y: valores dependientes del tiempo.

Se obtuvo una ecuación de la recta que se adapta a los datos disponibles. Luego, se utilizó la ecuación para calcular los datos en momentos no registrados. Con los siguientes valores para la proyección de la oferta y demanda, respectivamente de:

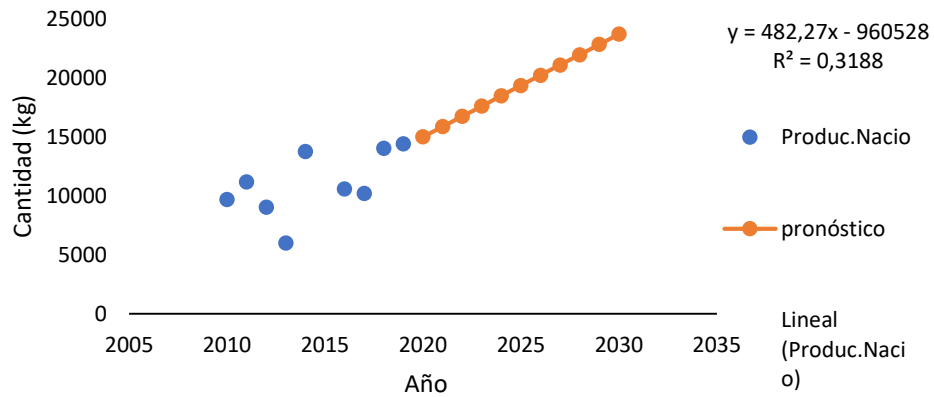
“b” =482,27, “a” =-960.528 , lográndose ver en la **Figura 4**

“b” =25836, “a” = -5e+07 , lográndose ver en la **Figura 5**

- Proyección nacional de la oferta de ácido láctico

Para calcular la oferta de ácido láctico del país, se combinaron datos de exportaciones y consumo nacional. La proyección nacional de la oferta de ácido láctico desde el año 2010 hasta el 2020 tuvo como resultado una pendiente positiva en el rango de tiempo estipulado. En la **Figura 4** se observa la información detallada sobre la proyección nacional de la demanda de ácido láctico en kg. Con base en estos datos que se tomaron para la proyección, se estima que la producción nacional de ácido láctico alcance 23.710,59 kg para el año 2030, con una concentración del ácido láctico de 80% que es el utilizado para el uso comercial. Es relevante mencionar que en 2015 el DANE no registró datos de producción nacional, lo que aumenta la incertidumbre en las proyecciones.

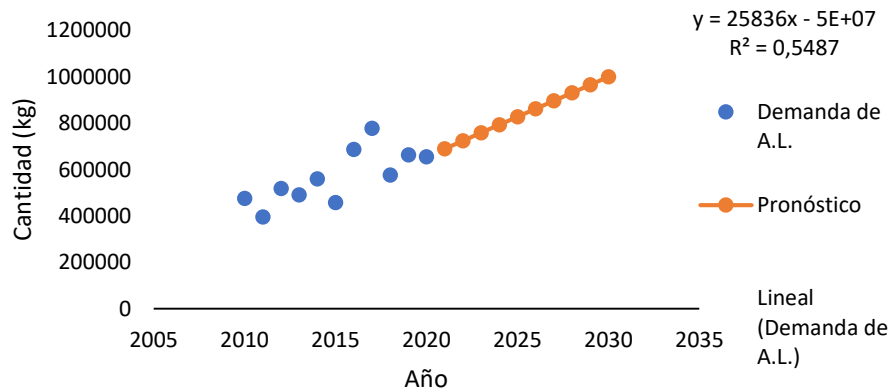
Figura 4. *Proyección nacional de la oferta de ácido láctico en kg*



- Proyección nacional de la demanda de ácido láctico.

Se combinaron datos de importaciones y consumo nacional de ácido láctico para obtener la proyección de la demanda. Con el respectivo análisis de datos se dedujo una estimación de la demanda de ácido láctico para el 2030 de 1'000.373,01 kg. En la **Figura 5** detallada sobre la proyección nacional de la demanda de ácido láctico en kg.

Figura 5. *Proyección Nacional de la demanda de ácido láctico en kg*



5.1.6 Análisis de la proyección del precio del ácido láctico a nivel nacional

El IPC mide el costo promedio de bienes y servicios para hogares, actualizado mensualmente por el DANE. La inflación es la variación porcentual del IPC entre dos periodos, especialmente la anual. Las proyecciones de los precios de ácido láctico a nivel nacional desde el año 2019 hasta el 2030 se incrementan empezando con un valor de \$ 10.499,76 hasta \$15.421,55 por Kg respectivamente. Para hallar los datos anteriormente nombrados se utilizó el método de mínimos cuadrados para realizar la estimación de la inflación hasta 2030. En la **Tabla 2** se ubica la información detallada sobre las proyecciones de precios de ácido láctico a nivel nacional. (Banco de la República de Colombia, 2021).

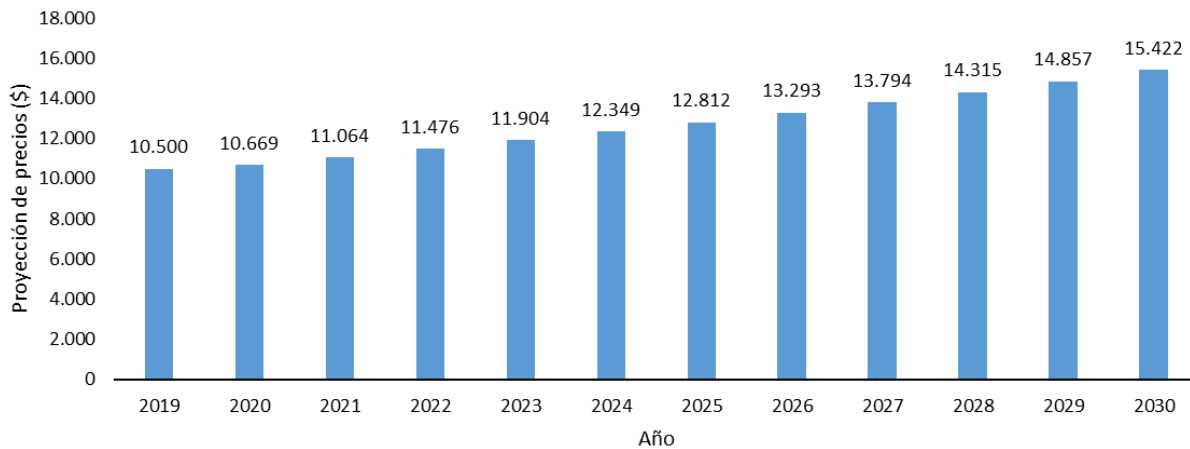
Tabla 2. *Proyección de precio de ácido láctico por Kg a nivel nacional*

Año	IPC	Precio
2019	0,04	\$ 10.499,76
2020	0,0161	\$ 10.668,81
2021	0,037085455	\$ 11.064,46
2022	0,037184545	\$ 11.475,89
2023	0,037283636	\$ 11.903,75
2024	0,037382727	\$ 12.348,75
2025	0,037481818	\$ 12.811,60
2026	0,037580909	\$ 13.293,07
2027	0,03768	\$ 13.793,96
2028	0,037779091	\$ 14.315,08
2029	0,037878182	\$ 14.857,31
2030	0,037977273	\$ 15.421,55

Nota. Tomado de: (DANE, 2023)

En la **Figura 6** se encuentra con más detalle las proyecciones de ácido láctico a nivel nacional.

Figura 6. *Proyecciones de precios de ácido láctico a nivel nacional*



Nota. Tomado de: (DANE, 2023)

5.1.7 Demanda insatisfecha ácido láctico

A pesar del aumento en la producción y la demanda, se identificó un segmento de demanda insatisfecha en el mercado de lactosuero y ácido láctico. Esto se atribuye en parte a la falta de conocimiento sobre las aplicaciones y beneficios de estos productos en ciertas regiones y sectores. En Colombia la producción de ácido láctico es muy escasa, abarca cerca del 1% de la demanda total, por ello, la mayoría de ácido láctico consumido en Colombia es importado, que corresponde a un poco más del 99%. Debido a estas razones y la demanda de este producto se logró identificar una gran oportunidad para poder comercializar este producto en el país. La demanda insatisfecha se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\text{Demanda insatisfecha} = \text{Importaciones} - \text{Exportaciones} \quad (\text{Ec. 5})$$

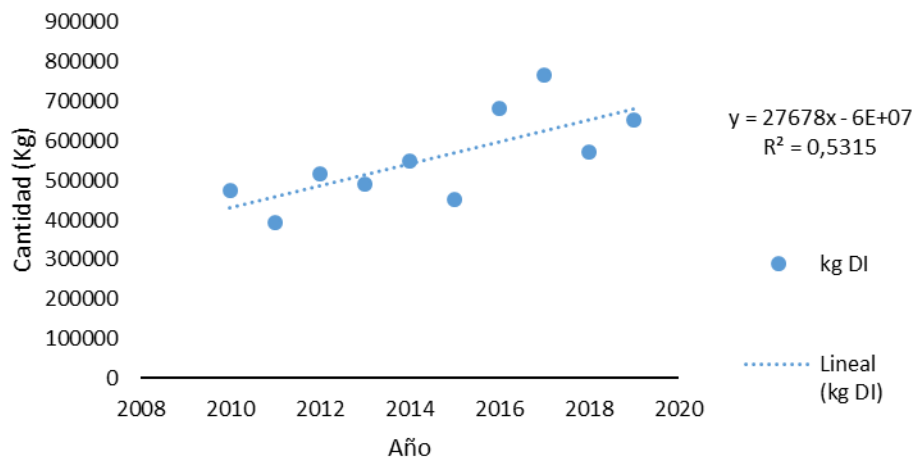
Según datos analizados de la demanda ácido láctico en Colombia desde el año 2010 al 2019 la demanda aumentó un 37,5% con una cifra de 652.982 kg para el año 2019. En la **Tabla 3** se ubica la información detallada sobre la demanda nacional insatisfecha de ácido láctico.

Tabla 3. Demanda nacional insatisfecha de ácido láctico en Kg

Demanda Insatisfecha de ácido láctico	
AÑO	kg DI
2010	474664
2011	394042
2012	518042
2013	489512
2014	548029
2015	452597
2016	681449
2017	766547
2018	571871
2019	652982

En la **Figura 7** está la gráfica explicativa de la demanda insatisfecha de ácido láctico a nivel nacional

Figura 7. Demanda insatisfecha de ácido láctico



Nota. Tomado de: (DANE, 2023)

5.2 Desarrollo del estudio técnico para la producción a escala piloto industrial de ácido láctico y sus sales

Esta fase presenta los resultados de la investigación que determinó la ubicación de la planta en 4 posibles ubicaciones y su capacidad de producción, en el marco del proyecto MinCiencias, desarrollados por los grupos de investigación CICTA de la UIS, y GIQTA de la UPTC, ubicados en Santander y Boyacá, respectivamente.

5.2.1 Ubicación de la planta

La ubicación de la planta de producción es una decisión que puede influir en la eficiencia operativa, la rentabilidad y la satisfacción de los clientes. Para tomar esta decisión, se evaluaron dos posibles ciudades de cada departamento involucrado en el desarrollo del proyecto de MinCiencias, en Santander: Bucaramanga y Socorro; en Boyacá: Tunja y Paipa, utilizando los dos métodos de toma de decisiones basados en criterios subjetivos.

- *Factores Ponderados:*

Al realizar el respectivo análisis por factores ponderados se dio un valor para cada uno de los factores analizados: acceso a materias primas 20%, disponibilidad de mano de obra 10%, transporte 25%, impuestos 15%, costos de instalación 10%, proximidad a mercados claves 20%; con los cuales se analizaron las opciones de ciudades que se tenía para la ubicación de la planta

estas eran: Paipa, Tunja, Bucaramanga y Socorro. Al realizar el respectivo cálculo dio como resultado que la ciudad de Bucaramanga era la más viable como ubicación ya que obtuvo un resultado de 7,45 en comparación con Tunja que obtuvo 7,25, Paipa 6,8, y Socorro 6,15. En **Tabla 4** se encuentra el análisis completo realizado por este método.

Tabla 4. Análisis factores ponderados

Factores		Requerimientos		Alternativas			
		Peso relativo (%)	Peso relativo	Paipa	Tunja	Bucaramanga	Socorro
Acceso a materias primas	20	0,2	1,2	1,6	1,8	1,2	
Disponibilidad de mano de obra	10	0,1	0,7	0,7	0,7	0,7	
Transporte	25	0,25	1,75	2	2	1,5	
Impuestos	15	0,15	1,05	1,05	1,05	1,05	
Costos de Instalación	10	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	
Proximidad a mercados claves	20	0,2	1,6	1,4	1,4	1,2	
Total	100	1	6,8	7,25	7,45	6,15	

La ciudad de Bucaramanga ofrece varias ventajas en comparación con las otras ciudades, las más importantes son: cuenta con 20 queserías cercanas (Empresite,2023) lo que facilita el acceso a materia prima, y además la ciudad tiene varias rutas de acceso a ciudades principales donde se comercializa ácido láctico en diversas industrias.

5.2.2 Capacidad de la planta

La capacidad de una planta es un aspecto clave en la gestión de plantas de producción, ya que permite determinar la capacidad máxima que una instalación puede alcanzar en condiciones óptimas. La variable de capacidad de diseño se analizó utilizando el método de Rudd y Watson, considerando parámetros heurísticos y analizando la demanda insatisfecha de la última década. En el departamento de Santander se producen 297.393,8 L de lactosuero diario (108'548.738,5 L de lactosuero anuales). Al analizar el comportamiento de la demanda de ácido láctico, con base en los datos recopilados y el método empleado, se generó una gráfica que resalta los cambios en el mercado con mayor claridad. Para obtener una regresión lineal más precisa, se calcularon los coeficientes "a" y "b" en la ecuación $y = a * x + b$, utilizando la curva obtenida de los medios móviles. Al realizar los cálculos de medias móviles de la demanda insatisfecha de ácido láctico en kg desde el año 2010 hasta el 2019 pudo hacer una estimación de los coeficientes obteniendo como resultado: $a=30.628$, $b=370.315$, $R^2=0,74$. Estos datos se aplicaron en el método para calcular la demanda inicial, D_0 , asumiendo que la planta ya estaba en funcionamiento.

La ecuación utilizada fue:

$$y = 30.628x + 370.315 \quad (\text{Ec.6})$$

Donde, x: tiempo (posición, año 2010 es equivalente a la posición 1); y: Demanda insatisfecha (kg/año).

Según la proyección, para el año 2023 (En el cual, $x=14$), se obtuvo una demanda insatisfecha anual de 799.107 toneladas de ácido láctico.

El análisis de rentabilidad del proyecto se realizó estableciendo la tasa de interés financiero en un 40% anual, considerada adecuada para un crédito industrial de gran monto; esto garantiza

una tasa superior a los intereses anuales del sector financiero. En relación con el eje de las abscisas, con las variables calculadas se obtuvo:

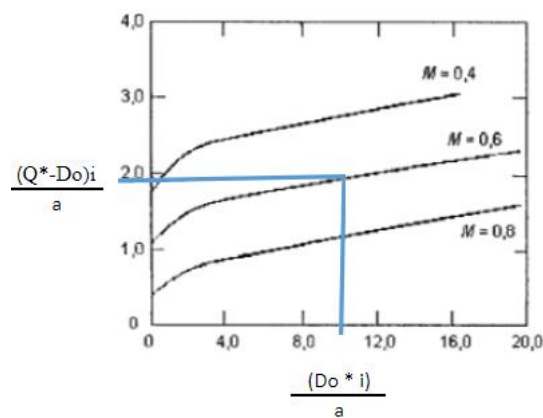
$$X = \frac{Do \cdot i}{a} = \frac{(799.107) \cdot (0,4)}{30.628} = 10,43 \tag{Ec. 7}$$

En el que, Do (t); i (% de interés /100), a (pendiente de la recta en la ecuación 6).

Además, se fijó el factor escalar de costos (M) en un valor de $0,6$ considerando la alta inversión necesaria para la producción de ácido láctico en plantas químicas. Ubicando en la Figura 1 la curva $M=0,6$ y $10,4$ en el eje de las abscisas, proyectándose a un valor de $1,93$ para el factor de diseño de la planta en el eje de las ordenadas.

A partir de este valor anteriormente calculado, se estimó la capacidad inicial recomendada de la planta y el tiempo de la primera expansión, considerando que las tendencias proyectadas permanecen constantes.

Figura 8. Gráfica de sobre diseño



Nota. Tomado de: Carta guía del método Rudd y Watson

Los cálculos se realizaron utilizando las siguientes ecuaciones:

- *Capacidad inicial de la planta:*

Se calcula la capacidad óptima inicial (Q_i)

$$\frac{|Q_i - D_0| \cdot i}{a} = 1,93 \quad (\text{Ec. 8})$$

$$\frac{|Q_i - 799.107| \cdot 0,4}{30.628} = 1,93 \quad (\text{Ec. 9})$$

$$Q_i = 946.887,1 \text{ kg anuales de ácido láctico}$$

Se obtuvo un valor de Q_i de 946.887,1 kg anuales de ácido láctico y sales, sin embargo, el proyecto se centra en un nicho de mercado específico, que representa el 10% de la demanda insatisfecha total. Así mismo, se determinó un umbral de riesgo del 5% debido a factores económicos y sociales, lo que resultó en una capacidad estimada de la planta para producir 47.344,3 kg anuales de ácido láctico, supliendo el 5% de la demanda insatisfecha total. Teniendo en cuenta la densidad del ácido láctico es 1.206 kg/m³, se tendría un valor de 39.257,34 L anuales de ácido láctico y un valor diario de aproximadamente 107,55 L.

Los resultados sugieren que, si se implementan las recomendaciones de capacidad inicial identificadas a través del Método de Rudd y Watson, la planta estará bien posicionada para satisfacer la creciente demanda del mercado como un primer piloto industrial. Estos resultados son esenciales para la toma de decisiones estratégicas y la planificación a largo plazo de la planta de producción de ácido láctico.

- *Tiempo de la primera expansión:*

A partir de los cálculos del método Rudd y Watson, se consideró el momento en que la producción y capacidad de la planta tendrían su primera expansión en el mercado. Obteniendo un resultado de aproximadamente 5 años.

$$t \text{ exp} = \frac{(Q_i - D_o)}{a} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$t \text{ exp} = \frac{(946.887,1 - 799.107)}{30.628} \quad (\text{Ec. 11})$$

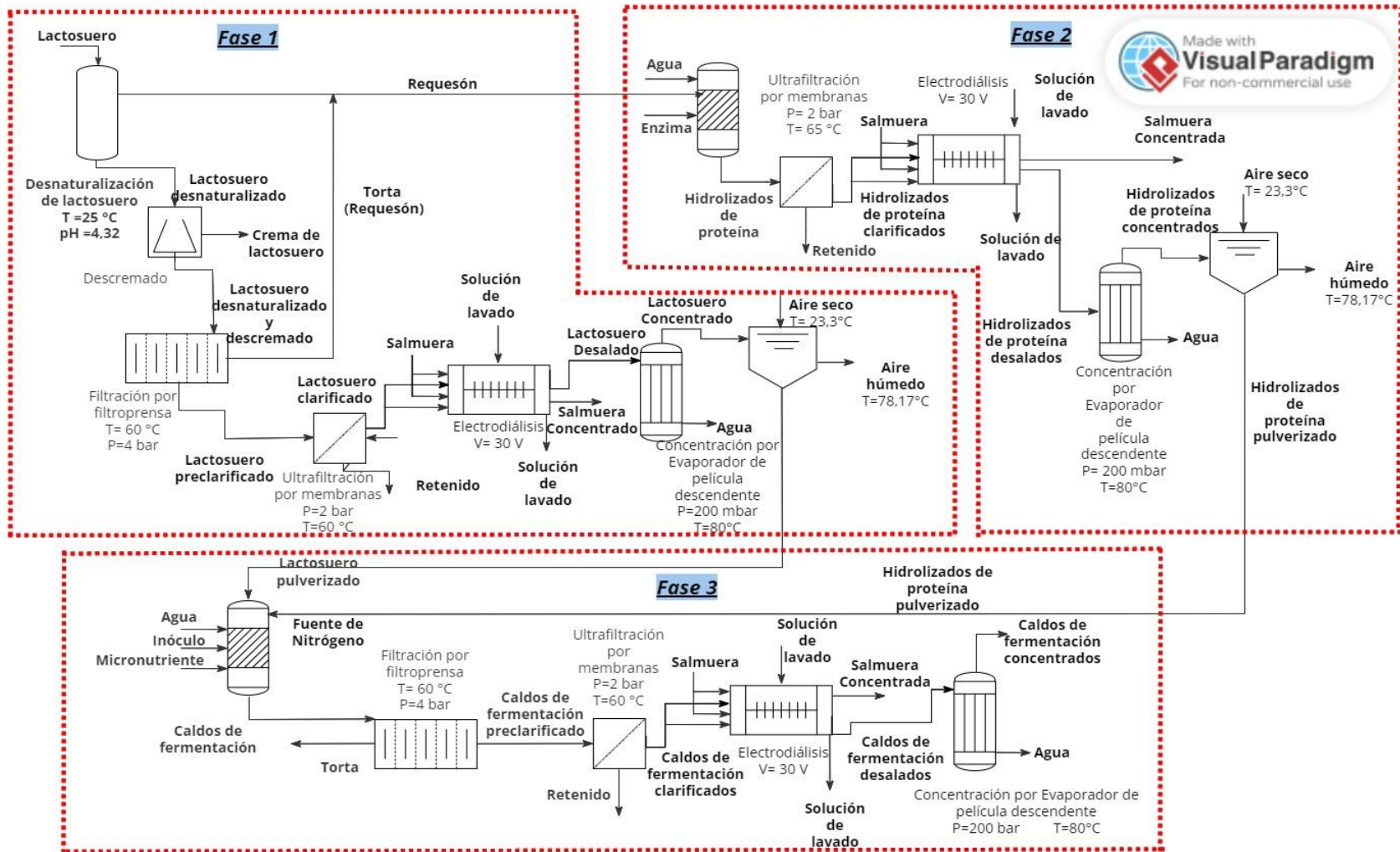
$$t \text{ exp} = 4,82 \text{ años} \quad (\text{Ec. 12})$$

Nota: Método Rudd y Watson

5.2.3 Análisis y heurística de diseño

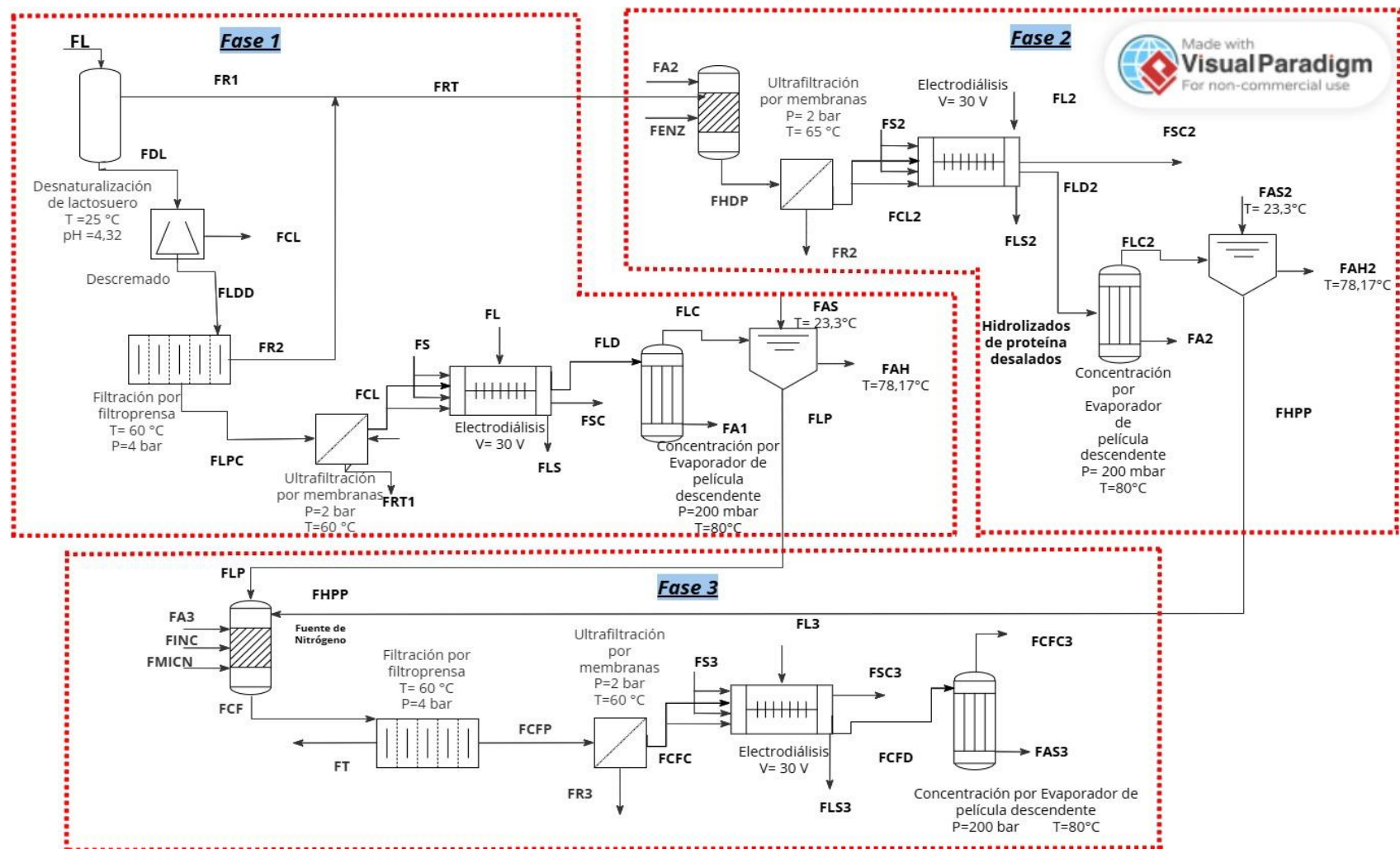
En heurística de diseño se tuvo en cuenta las fases del proceso para poder especificar los equipos y requerimientos de estos en el proceso, teniendo en cuenta las principales características de equipo y las ventajas que presenta. En la **Figura 9** se presenta el diseño del proceso de producción ácido láctico a partir de lactosuero, de igual manera en la **Figura 10** está el diagrama de flujos masicos totales simplificado del proceso. Ambas figuras fueron de creación propia basadas en el proyecto de MinCiencias ya culminado con *Código Registro: 70590*

Figura 9. Diagrama simplificado del proceso



Nota: creación propia basado en el proyecto de MinCiencias ya culminado con Código Registro: 70590

Figura 10. Diagrama de flujos máxicos totales simplificado del proceso



Nota: creación propia basado en el proyecto de MinCiencias ya culminado con Código Registro: 70590

En las **Tabla 5, 6 y 7** se presentan los flujos, en batch en un tiempo 48h, de todos los equipos en las Fases 1, 2 y 3, respectivamente.

Tabla 5. *Flujo de la fase 1*

Fase 1	Equipo
Flujo	Intercambiador de calor
FL [kg]	2301,78
FR1 [kg]	0,00011
FDL [kg]	2301,78
Flujo	Descremadora
FDL [kg]	2301,78
FCL [kg]	1,15
FLDD [kg]	2300,63
Flujo	Filtro de Prensa
FLDD [kg]	2300,63
FR2 [kg]	150,04
FLPC [kg]	2150,59
Flujo	Ultrafiltración por membrana
FLPC [kg]	2150,59
FRT1 [kg]	600,16
FCL [kg]	1550,42
Flujo	Electrodialisis
FS [kg]	1660,50
FL [kg]	2067,23
FCL [kg]	1550,42
FLD[kg]	1543,39
FSC [kg]	1667,54
FL [kg]	2067,23
Flujo	Evaporador de película descendente
FLD[kg]	1543,39
FLC [kg]	308,68
FA [kg]	1234,71
Flujo	Pulverizador

FLc [kg]	308,68
FA [kg]	2,23
FAIS [kg]	186,24
FAs [kg]	186,2
Fhu [kg]	229,6
Fs [kg]	47,8
FLP [kg]	31,855
FA [kg]	0,96

Tabla 6. Flujos de la fase 2

Fase 2	Equipo
Flujo	Hidrólisis
FH2O [kg]	400,82
Requeson [kg]	150,04
FHDP [kg]	550,87
Flujo	Ultrafiltración por membrana
FR [kg]	153,73
FHDP [kg]	550,87
FCL [kg]	397,14
Flujo	Electrodialisis
FS [kg]	425,33
FCL [kg]	397,14
FL [kg]	529,51
FLD[kg]	390,10
FSC [kg]	432,36
FL [kg]	529,51
Flujo	Evaporador de película descendente
FLD[kg]	390,1
FA [kg]	312,08
FLC [kg]	78,02
Flujo	Pulverizador
FLC [kg/h]	78,02
FA [kg/h]	1,86
FAIS [kg/h]	155,30
solido	12,10
FAs [kg/h]	155,30

Fase 2	Equipo
Fhumedad [kg/h]	58,90
FLP [kg]	8,05
FA [kg]	0,25

Tabla 7. Flujo de la fase 3

Fase 3	Equipo
Flujo	Fermentador
Fagua [kg]	1992,57
Finoc [kg]	21,65
lactobacillus	0,67
FLSP [kg]	193,68
FFNITR [kg]	8,05
NaOH kg	55,79
Flujo	Filtro de prensa
FLDD [kg]	2014,89
FHDP [kg]	1883,48
FLPC [kg]	131,41
Flujo	Ultrafiltración de membrana
FHDP [kg]	1883,48
FR [kg]	525,62
FCL [kg]	1357,86
Flujo	Electrodialisis
FCL [kg]	1357,86
FS [kg]	1454,27
FL [kg]	1810,48
FLD[kg]	1350,83
FSC [kg]	1447,23
FL [kg]	1810,48
Flujo	Evaporador de película descendente
FLD[kg]	1350,83
FLC [kg]	270,17
FA [kg]	1080,66

En la **Tabla 8**, se presentan los equipos que se utilizaron en todo el proceso, cada uno con su capacidad y características.

Tabla 8. *Equipos asignados a cada una de las etapas del proceso*

Etap a	Nombr e del Equipo	Marca	Capacida d	Precio	Características del equipo	Necesidad energética (kW)
Desp rotei nizad o	Interca mbiador de calor de superficie raspada	Conthe rm®	Depende a la aplicación en que se encuentra y está determina do por el programa y la temperatura del producto.	\$ 77'220.000	Este equipo permite un raspado en la superficie del lactosuero. La superficie de calentamiento está hecha de acero inoxidable al igual que las hojas raspadas, y la superficie de calentamiento es de 0,28 m ² . A demás la temperatura de trabajo del equipo es de 34°C a 170°C.	101
Desc rema do	Descrema dora	INTEC EXPO RT	3.000 L/h.	\$ 34'740.000	Descremadora centrífuga, fabricada en acero inoxidable, posee un sistema de accionamiento centrífugo para un funcionamiento suave y eficiente.	1
Clari ficación	Filtro de prensa	Diemme Filtration	900- 2.895 L/h.	\$ 28'408.227	Es un filtro muy versátil por lo que se adapta muy fácilmente, este es totalmente automático. El uso de las placas hace que aumente la eficiencia	4

Etap a	Nombr e del Equipo	Marca	Capacid ad	Precio	Características del equipo	Necesidad energética (kW)
					del lavado y secado de la torta. Posee aproximadamente 15 a 30 placas de filtración.	
Elect rodia lisis	Electro dializad or	ACILI ZADO RED	1.000 a 10.000 L/h.	\$ 34'320.000	Este equipo utiliza membranas de intercambio iónico y energía eléctrica para separar sustancias iónicas en solución acuosa, así que permite que las sustancias traten una correcta desalinización, concentración, refinación y recuperación eficiente. Este equipo no requiere calentamiento ni presurización.	10
Conc entra ción	Evapora dor de película descend en-te	LAB1 S	50-2.500 L/h	\$ 83'655.000	Este es un evaporador el cual tiene una capacidad de 50-2500 L/h dependiendo del material que se utilice, además, posee un rango de temperatura máxima de 130°C.	50
Clari ficaci ón	Filtro de membra na	FOST REAM modelo FSQ- UF- 3000	300 L	\$ 21'879.000	Este filtro utiliza un tipo de membrana en la que la presión hidrostática fuerza el líquido contra una membrana semipermeable. En ella se retienen sólidos y	4

Etap a	Nombr e del Equipo	Marca	Capacid ad	Precio	Características del equipo	Necesidad energética (kW)
					solutos suspendidos de alto peso molecular, mientras que el agua y los solutos de bajo peso molecular pasan a través de la membrana.	
Pulve riza- dor	Secador por Aspersi ón	INOR A	400 L	\$ 8'580.000	Este tipo de secador se encarga de tratar y secar el gránulo de 10 a 20 veces más rápido que en un horno convencional, además que se realiza un secado uniforme teniendo en cuenta que este no cambia el color del producto en cualquiera de los puntos del equipo.	10
Ferm enta- ción	Ferment ador	INOXI MEXI CO	2500 L	\$ 31'746.000	Este fermentador es de acero inoxidable con un espesor de 3mm. Se incluye un termopozo para colocar un sensor de temperatura. De igual forma, para enfriar se tiene una chaqueta simple para recirculación de agua con glicol y aislamiento poliuretano. Para protección del fermentador se tiene una válvula de alivio bidireccional que libera a 29 psi. Patas con niveladores. Además,	10

Etap a	Nombr e del Equipo	Marca	Capacid ad	Precio	Características del equipo	Necesidad energética (kW)
					este fermentador cuenta con un dosificador.	

5.2.4 Análisis de masa y energía

- *Balance de masa global*

En la **Tablas 9**, se presentan la entrada de todas las sustancias al proceso cada una con su caudal, tiempo y masa, además la **Tabla 10**, presentan la salida de todas las sustancias al proceso cada una con su caudal, tiempo y masa se presentan las corrientes de entrada y salida del proceso global de cada una de las secciones incluidas en este proyecto, determinados a partir de balances de masa.

Tabla 9. Masa entrada del proceso

Compuesto	Sección	Caudal (kg/h)	Tiempo (h)	Masa (kg)
Lactosuero	I	47,95	48	2301,78
Solución NaCl	I	34,59	48	1660,50
Solución de lavado	I	43,07	48	2067,23
aire seco	I	3,93	48	188,48
Agua	II	8,35	48	400,82
Solución NaCl	II	8,86	48	425,33
Solución de lavado	II	11,03	48	529,51
Aire seco	II	3,27	48	157,16
Agua	III	41,51	48	1992,57
inóculo	III	0,46	48	22,32
Solución NaCl	III	30,30	48	1454,27
Solución de lavado	III	37,72	48	1810,48

En la **Figura 11** se encuentran los flujos de entrada de cada una de las fases.

Figura 11. Flujos de entrada del proceso

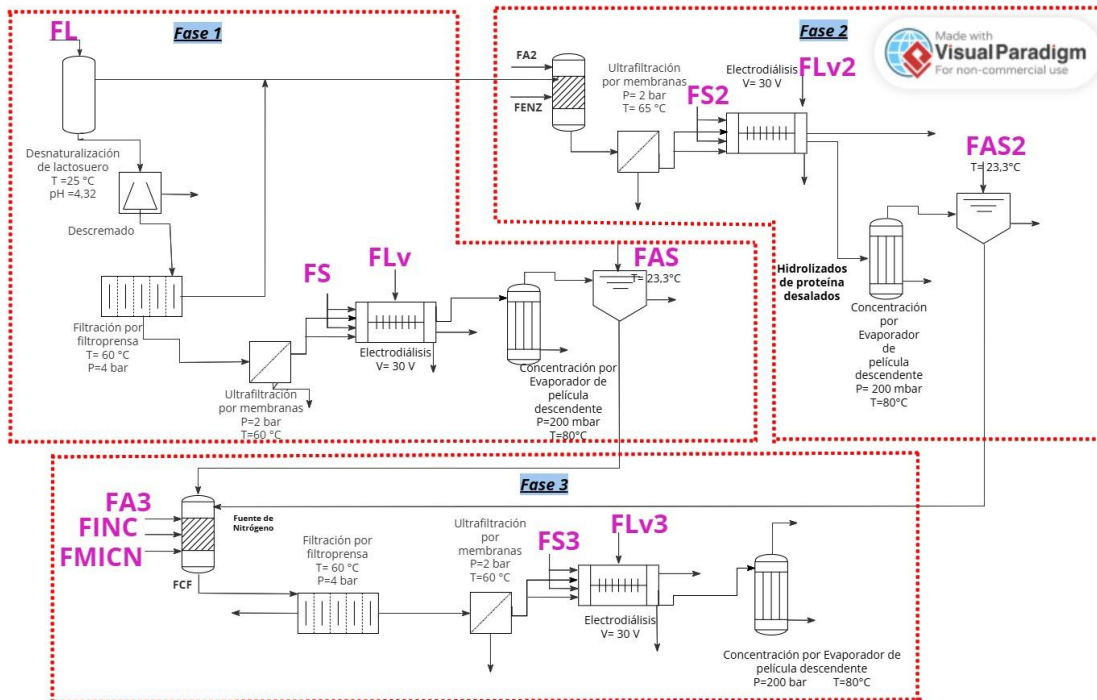


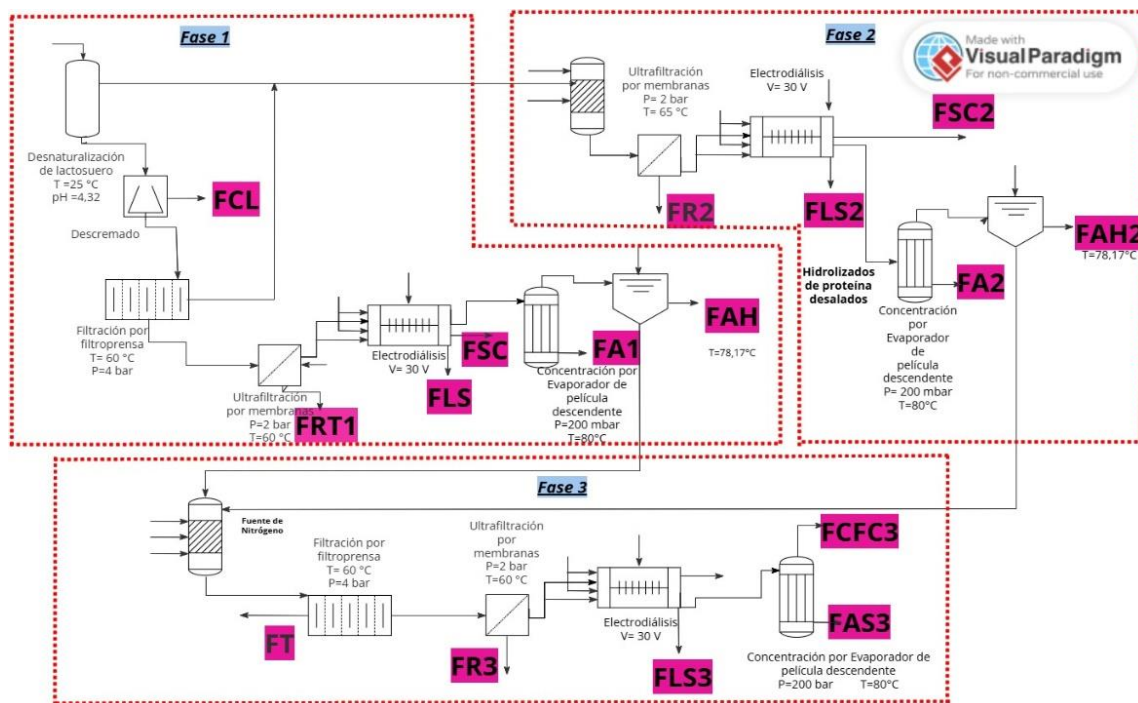
Tabla 10. Masa de salida del proceso

Compuesto	Sección	Caudal (kg/h)	Masa (kg)
Crema de suero	I	0,02	1,15
Retenido Clarificación	I	12,50	600,16
Salmuera concentrada	I	34,74	1667,54
Solución de lavado	I	43,07	2067,23
agua	I	25,72	1234,71
Aire húmedo	I	9,66	463,60
Retenido Clarific.	II	3,20	153,73
Salmuera concentración	II	9,01	432,36
Solución de lavado	II	11,03	529,51
Agua	II	6,50	312,08
Aire húmedo	II	4,71	226,26

Retenido Filtropre	III	2,74	131,41
Retenido Clarific.	III	10,95	525,62
Salmuera concentrada	III	30,15	1447,23
Solución de lavado	III	37,72	1810,48
Agua	III	22,51	1080,66
Solucion rico ácido láctico	III	5,63	270,17

En la **Figura 12** se encuentran los flujos de salida de cada una de las fases.

Figura 12. *Flujos de salida del proceso*



La diferencia entre ambos cálculos, balances globales de entrada y salida, es de 0,43% equivalente a 56,54 kg, y supone un error acumulado del proceso global de los distintos balances de materia en los equipos.

- *Balance de energía.*

En la **Tabla 11** se puede ver las necesidades energéticas de cada una de las etapas del proceso en ella se han recogido las necesidades energéticas de cada uno de los equipos utilizados, tanto de intercambio de calor como de electricidad derivada de las agitaciones.

Tabla 11. *Necesidades energéticas Totales de cada etapa del proceso*

Equipo	Sección	Necesidades Energéticas (kW)
Intercambiador de calor para calentar el lactosuero	I	101
Intercambiador de calor para enfriar el lactosuero a temperatura de reacción	I	74
Descremadora	I	1
Filtro prensa	I	4
Clarificador por filtración de membrana	I	4
Electrodializador	I	10
Evaporador de película descendente	I	50
Secador por Aspersión	I	10
Fermentador (Hidrolizado)	II	10
Clarificador por filtración de membrana	II	4
Electrodializador	II	10
Evaporador de película descendente	II	50
Secador por Aspersión	II	10
Inoculación	III	43
Fermentador	III	10
Evaporador	I / II / III	50
Filtro prensa	III	4
Clarificador por filtración de membrana	III	4
Electrodializador	III	10
Evaporador de película descendente	III	50

- Intercambiador de calor para calentar el lactosuero

A continuación, en la **Tabla 12**, se resumen las corrientes del intercambiador con su flujo de calor asociado.

Tabla 12. Balance de energía de intercambiador de calor

Flujo	v (m³ h⁻¹)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°K)	Q (kW)
Lactosuero	1,3	20	85	65	100,65
Agua de Calentamiento	8,95	100	90	-10	-100,65

- Tanque de esterilización y precipitación proteínica

En esta fase de la investigación, es crucial mantener la temperatura por encima de los 80 °C, según lo detallado en la sección de diseño. Para lograrlo, se implementa un aislante en la superficie externa del recipiente para reducir al mínimo las pérdidas térmicas. Como resultado, la temperatura se mantiene constante en la entrada, salida e interior del reactor. Se concluye que el balance de energía resulta favorable y constante en estas condiciones.

- Centrífuga

Este equipo tampoco está asociado con ningún flujo energético de importancia más allá del consumo eléctrico asociado.

- Intercambiador de calor para enfría el lactosuero a la temperatura de reacción

En la **Tabla 13**, se resumen las corrientes del intercambiador con su flujo de calor asociado.

Tabla 13. Balance de energía de intercambiador de calor

Flujo	v (m3 h-1)	Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°K)	Q (kW)
Lactosuero	1,29	85	37	-48	-73,72
Agua de Calentamiento	6,35	15	25	10	73,72

- Tanque de inoculación

En este tanque tienen lugar dos reacciones exotérmicas: la fermentación, y la neutralización del ácido láctico producido. Para mantener constante la temperatura en el tanque se utilizará un encamisado con agua refrigerante, que absorba dicho flujo energético

En la **Tabla 14**, se presenta el balance de materia del tanque de inoculación.

Tabla 14. Balance de energía de Tanque de inoculación

Reacción	Kg	kmoles	Calor (kJ)	Potencia (kW)
Fermentación	104,31	0,304	66064	1,8
Neutralización	26,32	0,355	40236	1,09
			TOTAL	2,89

5.2.5 Seguridad de procesos e impacto ambiental

- *Riesgos asociados a productos químicos.*

Los riesgos de seguridad deben intentar eliminarse en la fuente, sin embargo, estos aspectos de seguridad, intrínsecos a los modos y variables de operación, resultan difíciles de modificar llegados a este punto. Los equipos ya se diseñaron considerando las posibles limitaciones y naturalezas de las sustancias, para una operación segura y eficaz. Este apartado se centra en la protección de los individuos y trabajadores de la planta, es decir, se hablará principalmente de equipos de protección individual.

Los microorganismos utilizados no tienen riesgo para la salud, el *Lactobacillus Casei* es un ingrediente habitual en alimentos. Los guantes serán de nitrilo tendrán un espesor mínimo de 0,2 mm, necesario para la manipulación de sustancias y equipos. Igualmente, los operarios portarán gafas de seguridad que cuenten con protección a los costados y una visera de al menos 20 cm.

La operación contará en sus protocolos y manuales de uso también con un plan de emergencia y evacuación cuya creación queda fuera del alcance del presente proyecto. Una situación de emergencia o una fuga en un tanque siempre podría implicar un peligro para el operario, por lo que también se desarrollarán manuales y protocolos de actuación para las operaciones que impliquen el uso de sustancias peligrosas. Los trabajadores serán formados en su inducción de trabajo en riesgos asociados a prevención y actuación frente a un accidente. Además, también se informará respecto al uso correcto y sustitución oportuna de los equipos de protección individual EPPs. Se tomará como guía la ley nacional la cual estipula el uso de los equipos de protección individual. Esta ley recalca que se debe proveer a los empleados con los equipos de

protección personal, ya que esto es un deber de la empresa, en ningún caso el trabajador deberá adquirirlos él mismo.

- *Riesgos de los equipos, condiciones de operación y mantenimiento.*
 - Incendios, inflamabilidad y explosiones.

La caldera, representa un riesgo debido a la de presión, posibles fugas de combustible o gas, encendidos incorrectos y fallos en los sistemas de control. Además, la mala calidad del agua o el mantenimiento deficiente, como la falta de limpieza o la revisión inadecuada de las válvulas de seguridad, pueden comprometer su integridad estructural, lo que aumenta la probabilidad de accidentes graves. Por ello, una operación segura y un mantenimiento preventivo riguroso son esenciales para minimizar estos peligros.

El fermentador se vuelve inerte mediante nitrógeno estéril. Este gas, poco reactivo, desplaza el oxígeno que se encuentra en el 25% de espacio libre en los reactores. De esta manera, la atmósfera no podrá ser inflamable. Asimismo, las condiciones anaerobias dentro del tanque, donde se previene la formación de biofilms y la proliferación en general de microorganismos y patógenos en especial en la zona libre de líquido, los bucles de control de temperatura y presión en las torres y la temperatura al igual que el pH en los tanques.

- Riesgos eléctricos.

En las instalaciones de la planta no hay riesgos eléctricos especiales, salvo los usuales en cualquier industria con equipos que funcionan con energía eléctrica. La normativa nacional y lineamientos de seguridad y salud en el trabajo con energía eléctrica, Resolución 5018 de 20219- Ministerio del Trabajo, servirá de base para realizar un análisis que permita identificar posibles

riesgos no considerados. Por lo que se refiere a la protección individual de los trabajadores, se utilizarán EPPs de nitrilo los cuales aislarán la electricidad y prevendrán descargas eléctricas leves.

- Riesgos Mecánicos.

La disposición de los elementos mecánicos y su contaminación auditiva por motores o sistemas de agitación se realiza durante el ensamblaje y diseño de los equipos. En tanto que no se realiza un diseño tan detallado de estos, resulta difícil eliminar estos riesgos, esta responsabilidad recae en la empresa y el fabricante de los equipos. De igual forma es responsabilidad del trabajador el uso correcto de los equipos de protección personal, así como la lectura, comprensión y aplicación de los manuales.

Cuando haya que manipular las máquinas donde estén presentes estos tipos de riesgos, los EPPs se adaptarán a cada situación y se ampliarán respecto a lo descrito en el apartado de riesgos asociados a productos químicos.

- Identificación de peligros y análisis de riesgo.

En la **Tabla 15** se presenta el análisis HAZOP del tanque de fermentación normal de vaciado/llenado.

Tabla 15. *Análisis HAZOP al tanque de fermentación normal de vaciado/llenado*

Desviación (Palabra Guía)	Perturbación	Causas	Consecuencias	Acción recomendada
No	No hay flujo de entrada o salida.	Impurezas o acumulación en las tuberías.	Disminución de la productividad igual que el aumento del tiempo	Limpieza periódica de las líneas y elementos de conducción con productos que

Desviación (Palabra Guía)	Perturbación	Causas	Consecuencias	Acción recomendada
			del proceso en general.	prevengan el ensuciamiento.
Menos	Disminución del flujo de vaciado / llenado.	Fallo de la bomba.	Vertido de lactosuero/ nutrientes e inóculo.	Revisión periódica de bombas.
Mas	Falta de control y regulación del flujo de entrada.	Fallo de válvulas.	Parada de las partes continuas del proceso.	Revisión periódica de las válvulas y elementos susceptibles de fallo.
Mas	Entrada mayor al debido de lactosuero.	Falla del sensor de nivel /error humano.	Disminución de la concentración de reactivos y aumento del tiempo del proceso general.	Automatizar sistema de cerrado de válvula y colocar una sensor-alarma recordatoria.
Parte de	No entra alguno de los nutrientes.	Error humano.	Disminución de la productividad y aumento del tiempo del proceso general.	Cumplimiento de <i>Check-lists</i> y duplicación de las comprobaciones.
Parte de	Los nutrientes no entran estériles.	Contaminación en el tanque de origen o durante la manipulación.	Posible fallo de la reacción lo que puede suceder en el peor de los casos o bajada del rendimiento por competición con otros organismos.	Establecimiento de un protocolo de higiene para operarios. Delimitación y mantenimiento de una "zona segura".
Contrario	El flujo buscado se invierte.	Sobrepresión en el recipiente de destino.	Vertidos en el otro extremo de la	Instalación de venteos y válvulas de seguridad.

Desviación (Palabra Guía)	Perturbación	Causas	Consecuencias	Acción recomendada
			circulación. rotura de tuberías.	
Diferente de	Se produce un vaciado en el momento incorrecto.	Fallo de la válvula de salida.	Disminución del rendimiento de los equipos posteriores (por aumento de la demanda en los mismos).	Situar una segunda válvula en serie en el sistema de vaciado.
Diferente de	No se produce un vaciado en el momento correcto.	Fallo de la válvula de salida.	Rebose del reactor, vertido.	Instalación de una segunda salida del tanque para vaciados de emergencia.

En la **Tabla 16** que aparece a continuación se muestra el análisis HAZOP al encamisado de refrigeración en funcionamiento/reacción.

Tabla 16. *Análisis HAZOP al encamisado de refrigeración en situación de funcionamiento/reacción.*

Desviación (Palabra Guía)	Perturbación	Causas	Consecuencias	Acción recomendada
No	No hay flujo de refrigeración.	Fallo del bucle de control en algún punto de este.	Aumento de la temperatura en el reactor.	Instalación de válvula tipo FO la cual se abre en caso de fallo.

Desviación (Palabra Guía)	Perturbación	Causas	Consecuencias	Acción recomendada
Menos	El flujo de refrigerante disminuye.	Atascamientos o ensuciamientos en el encamisado.	Aumento de la temperatura en el reactor.	Descalcificación del agua del circuito. Limpieza periódica del sistema.
Mas	El fluido refrigerante entra más caliente.	Problemas de refrigeración en el circuito de aguas auxiliares.	Aumento de la temperatura en el reactor.	Instalación de un sistema de control de la temperatura en el circuito de aguas auxiliares.
Parte de	El fluido refrigerante está contaminado/ es corrosivo.	Contaminación del recipiente de proveniencia.	Averías o rotura del encamisado, posibles vertidos peligrosos.	Comprobaciones periódicas en el circuito de aguas auxiliares, así como ampliación de los protocolos de esterilización.
Contrario	El flujo de refrigerante se invierte.	Sobrepresión en el encamisado.	Aumento de la temperatura en el reactor.	Prevención de atascamientos o ensuciamientos mediante limpieza. Descalcificación del agua. Mantenimiento y sustitución de conexiones y válvulas.
Diferente de	El fluido refrigerante se mezcla con el contenido del reactor.	Rotura de la pared del tanque.	Disminución de la concentración (si entra el fluido refrigerante). Vertido del contenido del reactor (si sale la mezcla reaccionante).	Refuerzo de la pared del reactor, especialmente en puntos sobre los que actúe la presión del encamisado. Mantenimiento, revisión y sustitución de piezas y elementos oportunos.

Desviación (Palabra Guía)	Perturbación	Causas	Consecuencias	Acción recomendada
--	---------------------	---------------	----------------------	---------------------------

En la **Tabla 17** se presenta el análisis HAZOP al tanque de fermentación en situación de funcionamiento/reacción.

Tabla 17. *Análisis HAZOP al tanque de fermentación en situación de funcionamiento/reacción.*

Desviación (Palabra Guía)	Perturbación	Causas	Consecuencias	Acción recomendada
No	No hay grado de mezcla.	Fallo eléctrico. No hay agitación.	Depósito en el fondo de precipitados y células. Disminución de la velocidad de reacción. Desviaciones en la medida de pH.	Protección de los sistemas eléctricos. Motores de recambio o paralelos, así como mantenimiento de este.
Mas	Demasiada turbulencia.	Fallo del reductor, agitación más rápida que la diseñada.	Daño celular irreversible.	Limitación de la potencia del motor, por ejemplo, mediante la red eléctrica, o sistemas de protección que corten el suministro rápidamente.
Mas	Grado de mezcla irregular.	Zonas sin flujo en la unión de los deflectores a la pared.	Acumulación de células en zonas muertas. Formación de Biofilm.	Separación de los deflectores de la pared para eliminar esquinas y zonas muertas.

Desviación (Palabra Guía)	Perturbación	Causas	Consecuencias	Acción recomendada
			Heterogeneidad en el tanque.	
Parte de	Temperatura heterogénea.	Acumulación de células en zonas muertas (uniones, soldaduras).	Las células liberarán calor, si están paradas podrán generar puntos calientes en zonas alejadas del encamisado	Separación de los deflectores de la pared para eliminar esquinas y zonas muertas.
Contrario	Los microorganismos se mueren en lugar de crecer.	Contaminación del medio, excesiva temperatura o pH Muy bajo.	Parada de la reacción. Ausencia de producto.	Control de temperatura y pH (tratado aparte). Asegurar la esterilidad de los equipos aumentando el tiempo que el vapor pasa o su temperatura.
Diferente de	Se forman otros microorganismos y/o patógenos en el tanque.	Contaminación del reactor a través del punto donde el eje del agitador entra al tanque.	Descenso parcial o total del rendimiento.	Sellar el hueco de entrada del eje (Sello mecánico).

Se aclara que debido a que el proyecto es a nivel de una planta piloto, no se incluyó el análisis de impacto ambiental en el proyecto. Sin embargo, los resultados que se obtengan permitirán su análisis antes del escalamiento.

5.3 Determinación de la factibilidad preliminar del proceso mediante un estudio financiero de la producción de ácido láctico y sus sales

5.3.1 Indicadores financieros

En la **Tabla 18** se observan los datos de los indicadores financieros de la producción de ácido láctico y sus sales en ella se muestra el horizonte del proyecto el cual es de 5 años en ella se muestra que el impuesto de renta se asumió en un 25%, la tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) en 30 %. La cifra calculada de valor presente neto (VPN) es de \$189'340.798 y tasa interna de retorno (TIR) es de 44,10%.

Tabla 18. *Indicadores financieros de la producción de ácido láctico y sus sales*

Horizonte	Impuesto de renta	TMAR	Crédito
5	25%	30%	0
VPN	TIR	PAYBACK	PAYBACK Descontado
189'340.798	44,10%.	3	4

En la **Tabla 19** se muestran datos de entrada al proyecto y su incremento en los años de horizonte. Estos valores hicieron aclaración de que tan viable era el proyecto. En la tabla hay datos de activos fijos, activos diferidos, costos de materia prima y ventas del producto. De estos datos se pudo calcular la cantidad de lactosuero que se vendería en los años del proyecto donde se observa una cantidad constante en todos los años con un precio rentable para venta.

Tabla 19. Datos de entrada al proyecto de proceso de obtención de ácido láctico

Activos			
Activos fijos	Descripción	Aumento por año	Valor
Terrenos	NA	NA	\$ 0
Construcciones y obras civiles	NA	NA	\$ 0
Maquinaria y equipo	Valor en pesos colombianos	NA	\$ 404.203.227
Muebles y enseres	NA	NA	
Vehículos	NA	NA	\$ 0
Otros	NA	NA	\$ 0
Activos diferidos	Descripción	Aumento por año	Valor
Estudios	Estudios adicionales para la planta	NA	\$ 1.000.000
Gastos de organización	4 trabajadores con un salario mínimo por tres meses	NA	\$ 15.600.000
Gastos de montaje	8 trabajadores con salario mínimo por tres meses	NA	\$ 31.200.000
Gastos de puesta en marcha	Agua y luz teniendo en cuenta el valor promedio	NA	\$ 22.324.000
Capacitación	3 capacitaciones para 4 personas	NA	\$ 12.000.000
Otros	NA	NA	\$ 0
Imprevistos	Posibles problemas en cuanto a elementos de montaje	NA	\$ 3.000.000
Efectivo	NA	NA	\$ 0
Cartera	NA	NA	\$ 0
Otros	NA	NA	\$ 0
Costos			

Materia prima	Descripción	Aumento por año	Valor
Número de unidades	Cantidad en kilogramos	NA	\$ 800.000
Precio por unidad	Precio por kg	NA	1.000
Materiales directos	Transporte teniendo en cuenta que se tendría que rentar 4 camiones	23%	\$ 165.600.000
Mano de obra directa	4 trabajadores con un salario mínimo	8%	\$ 62.400.000
Otros materiales directos	NA	NA	\$ 0
Materiales indirectos	NA	NA	\$ 0
Mano de obra indirecta	NA	NA	\$ 0
Servicios	Gasto promedio por año de los servicios de agua y luz	13%	\$ 1.431.400
Mantenimiento	2 mantenimientos al año para la maquinaria	20%	\$ 5.000.000
Seguros	NA	NA	\$ 0
Impuestos	NA	NA	\$ 0
Depreciaciones	NA	NA	\$ 0
Amortización diferidos	NA	NA	\$ 0
Sueldo de admiración & parafiscales	NA	NA	\$ 0
Intereses bancarios	NA	NA	\$ 0
Otros gastos	NA	NA	\$ 0
Ventas			
Ventas	Descripción	Aumento por año	Valor
Precio de venta por unidad	Precio del kg	12%	\$ 112.000
Capacidad instalada	Cantidad en kilogramos	NA	44.000
Nivel de producción (%)	NA	10%	60%

5.3.2 Inversiones

Según el análisis hecho del estudio financiero se llegó a que el flujo de inversión para la planta es de aproximadamente \$ 489'327.227 en los que entran varios parámetros que se deben

cumplir como: gastos de organización, gastos de montaje, gastos de puesta en marcha, capacitaciones, inventario de materia prima, estudios e imprevistos.

Las inversiones diferidas que se utilizarán en el proyecto son: estudios de \$ 1'000.000 utilizados en capacitaciones y demás, gasto de organización de \$15'600.000, montaje de la planta un valor de 31'200.000, puesta en marcha de la planta de un valor de \$22'324.000, considerando el personal y los servicios que se gastarían en el montaje de la planta y por último, presupuestado de capacitaciones a los trabajadores de aproximadamente de \$12'000.000 y por si hay algún imprevisto que se presente se presupuestó \$3'000.000. Los valores anteriormente nombrados se dan en el año cero donde se hace la inversión inicial para la puesta en marcha de la planta. En la **Tabla 20 se explica** más a detalle los datos anteriormente nombrados.

Tabla 20. Presupuesto de inversiones de la producción de ácido láctico y sus sales

Presupuesto de inversiones de la producción de ácido láctico y sus sales	
Inversiones fijas	\$ 404'203.227
No depreciables	\$ 0
Terrenos	\$ 0
Depreciables	\$ 404'203.227
Construcciones y obras civiles	\$ 0
Maquinaria y equipos	\$ 404'203.227
Muebles y enseres	\$ 0
Vehículos	\$ 0
Otros	\$ 0
Inversiones diferidas	\$ 85'124.000
Estudios	\$ 1'000.000
Gastos de organización	\$ 15'600.000
Gastos de montaje	\$ 31'200.000
Gastos de puesta en marcha	\$ 22'324.000
Capacitación	\$ 12'000.000
Otros	\$ 0

Imprevistos	\$ 3'000.000
Capital de trabajo	\$ 0
Efectivo	\$ 0
Inventario de materia prima	\$ 0
Cartera	\$ 0
Otros	\$ 0
Flujo de inversión	\$ 489'327.227

Incluyendo los datos anteriormente nombrados de inversión en la **Tabla 21** se nombran los costos de inversión de la maquinaria utilizada.

Tabla 21. Presupuesto de inversiones de maquinaria

Equipos	Precio en pesos colombianos
Descremadora INTEC EXPORT	\$ 34'740.000
Intercambiador de calor de superficie raspada Contherm®	\$ 77'220.000
Evaporador de película descendente de la marca LAB1S	\$ 83'655.000
Evaporador de película descendente de la marca LONG QIANG	\$ 83'655.000
Filtro de prensa marca Diemme Filtration modelo 1500	\$ 28'408.227
Filtro de membrana marca FOSTREAM	\$ 21'879.000
Fermentador marca INOXIMEXICO	\$ 31'746.000
Secador de la marca INORA modelo YS-FDG-120	\$ 8'580.000
Electrodializador marca ACILIZADOR ED	\$ 34'320.000
Precio total	\$ 404'203.227

5.3.3 Operación

Se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros para su puesta en marcha en los primeros cinco años. Al final de cada año se calculó el gasto de operación donde se llegó a la conclusión que para el primer año se tiene un costo de operación de \$1.195'711.400, para el segundo año se tiene un costo de operación de \$ 1.473'630.122, para el tercer año se tiene un valor de \$1.812'831.961, para el cuarto año de \$2.226'723.579 y para el último año se tiene un valor de \$2.731'666.700. En la **Tabla 22 se explica** más a detalle los datos en los años proyectados del proyecto.

Tabla 22. Costos de operación de la producción de ácido láctico y sus sales

Costos de operación de la producción de ácido láctico y sus sales						
Periodos	0	1	2	3	4	5
Costos de fabricación	\$ 0	-\$ 1.034'431.400	-\$ 1.262'890.922	-\$ 1.543'085.785	-\$ 1.886'843.397	-\$ 2.308'704.696
Costo directo	\$ 0	-\$ 1.028'000.000	-\$ 1.255'273.440	-\$ 1.534'058.030	-\$ 1.876'138.034	-\$ 2.296'002.836
Materia prima	\$ 0	-\$ 800'000.000	-\$ 984'000.000	-\$ 1.210'320.000	-\$ 1.488'693.600	-\$ 1.831'093.128
Materiales directos	\$ 0	-\$ 165'600.000	-\$ 203'688.000	-\$ 250'536.240	-\$ 308'159.575	-\$ 379'036.277
Mano de obra	\$ 0	-\$ 62'400.000	-\$ 67'585.440	-\$ 73'201.790	-\$ 79'284.859	-\$ 85'873.431
Otros materiales directos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Gastos de fabricación	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Materiales indirectos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Mano de obra indirecta	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Otros gastos indirectos	\$ 0	-\$ 6'431.400	-\$ 7'617.482	-\$ 9'027.755	-\$ 10'705.363	-\$ 12.'701.860
Servicios	\$ 0	-\$ 1'431.400	-\$ 1'617.482	-\$ 1'827.755	-\$ 2'065.363	-\$ 2'333.860
Mantenimiento	\$ 0	-\$ 5'000.000	-\$ 6'000.000	-\$ 7'200.000	-\$ 8'640.000	-\$ 10'368.000

Costos de operación de la producción de ácido láctico y sus sales						
Periodos	0	1	2	3	4	5
Seguros	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Impuestos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Depreciaciones	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Amortización de diferidos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Gastos administrativos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Sueldos & parafiscales	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Intereses bancarios						
Otros	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Gastos de ventas	\$ 0	-\$ 161'280.000	-\$ 210'739.200	-\$ 269'746.176	-\$ 339'880.182	-\$ 422'962.004
Comisiones (costo de ventas)	\$ 0	-\$ 161'280.000	-\$ 210'739.200	-\$ 269'746.176	-\$ 339'880.182	-\$ 422'962.004
Total, costo operación	\$ 0	-\$ 1.195'711.400	-\$ 1.473'630.122	-\$ 1.812'831.961	-\$ 2.226'723.579	-\$ 2.731'666.700

5.3.4 Presupuesto de producción

En el presupuesto de producción se consideraron nuevamente en 5 años de operación de la planta. Igualmente, se incluyeron los ingresos de ventas de estos años, como también, en las utilidades brutas antes de impuestos, utilidades después de impuestos y la utilidad por distribuidor. Se obtuvo un flujo de producción en el primer año de \$111'216.450, en el segundo año de \$ 211'897.409, en el tercer año de \$326'289.629 en el cuarto año de \$ 454.208.452 y el quinto año de \$ 594'762.500. En la **Tabla 23** se explica el presupuesto para el tiempo proyectado.

Tabla 23. Presupuestos de producción de la producción de ácido láctico y sus sales

Presupuestos de producción de la producción de ácido láctico y sus sales						
Periodos	0	1	2	3	4	5
Ingresos por ventas	\$ 0	\$ 1.344'000.000	\$ 1.756'160.000	\$ 2.247'884.800	\$ 2.832'334.848	\$ 3.524'683.366
Costo total	\$ 0	-\$ 1.195'711.400	-\$ 1.473'630.122	-\$ 1.812'831.961	-\$ 2.226'723.579	-\$ 2.731'666.700
Utilidades brutas antes de impuestos	\$ 0	\$ 148'288.600	\$ 282'529.878	\$ 435'052.839	\$ 605'611.269	\$ 793'016.666
Impuesto de renta	\$ 0	-\$ 37'072.150	-\$ 70'632.470	-\$ 108'763.210	-\$ 151'402.817	-\$ 198'254.167
Utilidades después de impuestos	\$ 0	\$ 111'216.450	\$ 211'897.409	\$ 326'289.629	\$ 454'208.452	\$ 594'762.500
Reserva legal (10%)	\$ 0	\$ 11'121.645	\$ 21'189.741	\$ 32'628.963	\$ 45'420.845	\$ 59'476.250
Utilidad por distribuir	\$ 0	\$ 100'094.805	\$ 190'707.668	\$ 293'660.667	\$ 408'787.607	\$ 535'286.250
+ Depreciaciones	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
+ Amortización diferidos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
+ Reserva legal	\$ 0	\$ 11'121.645	\$ 21'189.741	\$ 32'628.963	\$ 45'420.845	\$ 59'476.250
Flujo de producción	\$ 0	\$ 111'216.450	\$ 211'897.409	\$ 326'289.629	\$ 454.'08.452	\$ 594'762.500

5.3.5 Flujo de caja

Se tuvo una inversión inicial de \$489'327.227 para obtener un flujo de caja en el primer año de \$111'216.450, en el segundo año es de \$ 318'201.192, el tercer año es de \$ 601'381.486, el cuarto año es de \$ 936'890.599 y el último año es de \$ 1.332'756.906. En la **Tabla 24** se aclaran los datos mencionados anteriormente.

Tabla 24. Flujo de caja de la producción de ácido láctico y sus sales

Flujo de caja de la producción de ácido láctico y sus sales.						
Periodos →	0	1	2	3	4	5
Flujo de inversión	-\$ 489'327.227	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Flujo de producción	\$ 0	\$ 111'216.450	\$ 211'897.409	\$ 326'289.629	\$ 454'208.452	\$ 594'762.500
Préstamo bancario	\$ 0					
Amortización crédito bancario						
Flujo neto de caja	-\$ 489'327.227	\$ 111'216.450	\$ 211'897.409	\$ 326'289.629	\$ 454'208.452	\$ 594'762.500

6. Conclusiones

Se realizó un estudio de mercado donde se encontró que el mercado potencial del ácido láctico en Colombia abarca diversas industrias, como la medicina, alimenticia, cosmética, química y aquellas con demanda insatisfecha de este compuesto. Asimismo, la diversidad colombiana favorece un suministro constante de materia prima de alta calidad. Para finalizar, se obtuvo como resultado que el estudio de mercado respalda el potencial de la síntesis del ácido láctico, evidenciando una demanda insatisfecha del 23,5% en 2020 y proyectándose un crecimiento sostenido hasta 2030.

Se llevó a cabo un estudio técnico para determinar la viabilidad de la producción anual de 39.257,34 L de ácido láctico, concluyendo que Bucaramanga es la mejor ubicación para la planta, considerando municipios de los departamentos de Boyacá y Santander, debido a su acceso a la materia prima, a las rutas de transporte nacionales, y a su proximidad a empresas de la industria láctea. Además, se reconoce la necesidad de profundizar en el análisis de seguridad del proceso para mitigar los riesgos asociados con la producción de ácido láctico.

Se realizó un estudio financiero, donde se encontró que el Valor Presente Neto (VPN) de la planta piloto industrial es de \$189'340.798, lo que muestra valores positivos para la viabilidad del proyecto. Sin embargo, se debe tener en cuenta que al ser un proyecto piloto hay variables que pueden cambiar como: la inversión inicial que en este caso está en \$489'327.227, en esta se incluyen varios factores como: equipos, gastos de organización, gastos de montaje, gastos de puesta en marcha, estudios, capacitaciones, que pueden variar y afectar la viabilidad del proyecto. Además, la tasa interna de retorno (TIR) que se obtuvo en el proyecto fue de 44,10%, un valor positivo y mayor a lo que se espera en una tasa interna de retorno de un proyecto viable, esto

ocurrió porque este es un proyecto de una planta piloto, por lo que se están verificando muchas variables que pueden afectar el resultado y las cuales pueden demostrar si el proyecto es viable o no.

7. Recomendaciones

Optimización del proceso de fermentación: Se recomienda profundizar en el estudio de nuevas cepas de microorganismos con mayor capacidad de conversión de lactosuero ácido en ácido láctico. Esto incluiría el análisis de factores que afectan la cinética de fermentación, como la temperatura, el pH, la concentración de nutrientes y la eliminación de inhibidores. Además, se sugiere explorar el uso de procesos de fermentación continua o semicontinua que podrían incrementar la productividad y reducir los costos operativos, mejorando la eficiencia general del proceso.

Análisis de impacto ambiental: Se recomienda realizar un análisis exhaustivo del impacto ambiental asociado a la producción de ácido láctico a partir de lactosuero ácido, utilizando herramientas como el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Este estudio debe evaluar aspectos clave como el consumo de energía y agua, la generación de residuos sólidos y líquidos, las emisiones de gases de efecto invernadero, y el potencial de reciclaje o reutilización de subproductos. Estos análisis permitirán identificar oportunidades para minimizar los impactos negativos, mejorar la sostenibilidad del proceso, y cumplir con regulaciones ambientales estrictas.

Viabilidad económica y competitividad a largo plazo: Es crucial ampliar los estudios de viabilidad económica para incluir proyecciones a largo plazo, analizando la fluctuación en los precios de los insumos, la demanda de ácido láctico y sus derivados en distintos mercados, y los posibles incentivos gubernamentales o subsidios para procesos industriales sostenibles. Además, se sugiere explorar la posibilidad de integrar este proceso en una cadena de valor más amplia dentro de la bioeconomía, aprovechando subproductos derivados del lactosuero en otras industrias, como la producción de biocombustibles o biopolímeros, mejorando así la competitividad del proceso en un entorno de economía circular.

Referencias Bibliográficas

- Alibaba. (2023). *Lab1st Evaporador de película descendente Precio 50L 100L 200L 500L 1000L*
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/Lab1st-1600461577360.html>
- Arguello, R. (2008) Estudio sectorial. Programa distrital de orientación a la ciudadanía sobre las nuevas formas de trabajo y ocupaciones en la ciudad región. Bogotá Colombia.
- Astom Corporation (2023). *Products catalogue Ion Exchange Membranes / Electrodialyzers, Diffusion Dialyzers* http://www.astom-corp.jp/en/catalog/pdf/Astom_Products_Catalogue.pdf
- Bayona, M. L. (11 de diciembre de 2021). *Así está Santander en materia de producción lechera* Vanguardia. <https://www.vanguardia.com/economia/local/asi-esta-santander-en-materia-de-produccion-lechera-EM4608143>
- CLAL. (18 de agosto de 2023). Página Principal www.clal.it
- DANE. (2023). *Encuesta Anual Manufacturera (EAM) Históricos*
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-anual-manufacturera-enam/eam-historicos>
- Diemme Filtration (2023). *Filtro Prensa de Viga Lateral ME*
<https://www.diemmefiltration.com/wp-content/uploads/2022/12/scheda-ME-DIEMME-ESP-1.pdf>
- Duarte-Manchego PA, G.-T. J.-N. (2019). *Evaluación de las proteínas hidrolizadas del lactosuero como fuente de nitrógeno en la fermentación láctica de la lactosa.*

- Fostream. (2024). *Fostream-filtro compacto de membrana de fibra hueca UF, equipo de microfiltración de agua Mineral* https://spanish.alibaba.com/p-detail/Fostream-62137101731.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.1598de98s3nHSG
- Ganado, F. N. (2023). *Balance y perspectivas del sector ganadero colombiano (2022-2023)*.
- Gobernación de Boyacá (2023). Boyacá produce 1 millón 289 mil litros de leche diarios <https://www.boyaca.gov.co/boyaca-productor-lacteo-dia-mundial-leche/>
- Grand View Research, (2021). *Bio-based Platform Chemicals Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (1,3-Propanediol, Dodecanedioic Acid, Lactic Acid, Succinic Acid, Fumaric Acid, Malic Acid, Glucaric Acid), And Segment Forecasts, 2019 - 2025* <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/bio-based-platform-chemicals-market/request/rs1>
- Inora. (2023). *Fluid Bed Spray Granulator / Dryer* https://inorapharma.com/Fluid_Bed_Spray_Granulator___Dryer.-p.5.html
- Inoximexico. (2023). *Procesos más rápidos* <https://www.inoximexico.com/producto/136/fermenatdor-unitanque-2550l-nominales-17bblutiles-#>
- INTEC EXPORT (2023). *Cream Separator descremadora* <https://pdf.indiamart.com/impdf/20536037291/16425/intec-60-lph-90-lph-electric-milk-cream-separator-descremadora.pdf>
- Johny-Cantor (2016). *Idea de negocio para la producción y comercialización de Ácido Láctico*. Bogotá.
- Long Qiang (2023). *Evaporador de película descendente* <http://foodmachinery.es/4g-film-concentrator.html>

- Markets and Markets. (2023). *8 out of top 10 Lactic Acid and Polylactic Acid companies rely on MarketsandMarkets for their growth* <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/polylacticacid-387.html>
- ONU. (2022). *Base de datos Comtrade de la ONU*. <https://comtradeplus.un.org/>
- Pack, T. (2023). *Tetra Pak® Evaporator Falling Film TVR* <https://www.tetrapak.com/solutions/processing/main-technology-area/evaporation/tetrapak-evaporator-tvr>
- Revista IA Alimentos (2023) *Así es la movida de la industria láctea en Colombia* <https://www.revistaialimentos.com/es/noticias/el-consumo-de-lacteos-en-colombia-en-el-segundo-trimestre-del-2022>
- Rodríguez, D. P. (2022) *Europa y EE.UU. lideran la oferta de quesos y son pioneros en técnicas de elaboración* <https://www.larepublica.co/ocio/europa-y-ee-uu-lideran-la-oferta-de-quesos-y-son-pioneros-en-tecnicas-de-elaboracion-3426651>
- Silvera, J. (2023). *Boyacá avanza en producción lechera y sus derivados*. Gobernación de Boyacá. <https://956fm.boyaca.gov.co/boyaca-avanza-en-produccion-lechera-y-sus-derivados/>
- Tredemap, (2020). *List of importers for the selected product in 2022 | Product : 2918 Carboxylic acids with additional oxygen function and their anhydrides, halides, peroxides and peroxyacids; their halogenated, sulphonated, nitrated or nitrosated derivatives* (trademap.org)

Apéndices

II: Etapas del proceso

- **Descremado**

✓ Descremadora: este equipo es de la marca INTEC EXPORT, se encarga de retirar la crema del lactosuero algunas de sus principales características son:

- Los elementos de entrada y de salida están hechos de acero inoxidable. Además de las partes que están en contacto con el lactosuero.

- La capacidad de separación es de 3000 L/h.

- La velocidad de recipiente es de 7500-8000 rpm.

- La temperatura de entrada del lactosuero esta entre 30-40 °C.

- Todos los componentes giratorios están equilibrados dinámicamente. (INDIA, 2023)

En la figura se muestra la descremadora INTEC EXPORT.

Figura A

Descremadora INTEC EXPORT



Nota. Tomado de: (INDIA, 2023).

- **Desproteínizado**

✓ Intercambiador de calor de superficie raspada: este equipo es utilizado para la desproteinización del lactosuero y su marca es Contherm® este tipo de intercambiador de calor permite un raspado en la superficie del lactosuero, permitiendo un proceso libre de suciedad y reduciendo los tiempos de producción prolongados algunas de las características de este equipo son:

- La capacidad del equipo depende a la aplicación en que se encuentra y está determinado por el programa y la temperatura del producto.
- La superficie de calentamiento está hecha de acero inoxidable al igual que las hojas raspadas.
- La superficie de calentamiento es de 0,28 m².
- La temperatura de trabajo del equipo es de 34°C a 170°C, ya que esta también se puede programar.
- La presión máxima que utiliza en el producto es de 2 MPa u opcional 2,7 MPa (Pak, 2023)

En la figura se presenta el intercambiador de calor de superficie raspada Contherm.

Figura B

Intercambiador de calor de superficie raspada Contherm®



Nota. Tomado de: (Pak, 2023).

- **Concentración**

✓ Evaporador de película descendente: Este es un evaporador de la marca LAB1S, algunas de las principales características de este equipo son:

- La capacidad del equipo es de 50-2500 L/h dependiendo del material que se utilice.
- El rango de temperatura máxima es de 130°C.
- La presión a la que funciona el equipo es mayor e igual a 1000.000 Pa.
- El tiempo de residencia es menor de 1 minuto.
- Tiene una eficiencia de recuperación de 95 a 99%.
- La fuente de alimentación es eléctrica. (LAB1ST, 2023)

En la figura se presenta el evaporador de película descendente de la marca LAB1S.

Figura C

Evaporador de película descendente de la marca LAB1S



Nota. Tomado de: (LAB1ST, 2023).

- **Hidrólisis**

✓ Evaporador de película descendente: Para la hidrólisis del lactosuero se utilizará un evaporador de película descendente de la marca LONG QIANG, el cual tiene como ventaja su diseño ya que aporta flexibilidad y sensibilidad en el producto. Sus principales características son:

- El evaporador de película descendente posee un tiempo de residencia muy corto del líquido en la superficie del tubo calentado, por lo que es ideal para productos sensibles al calor.
- La alimentación y descarga es continua en los materiales que ingresan a el equipo.
- La eficiencia y la temperatura de evaporación depende a el material que se ingresa y a los requerimientos que este posea.
- El condensador en el equipo cuenta con un alto coeficiente de transferencia de calor.
- La bomba de calor por inyección proporciona un buen efecto de ahorro de energía.
- La presión de vapor que se maneja es de 0,3 MPa.
- La temperatura de calentamiento es de 70 °C.
- La temperatura de esterilización esta entre 84-94 °C.
- La evaporación de la humedad en el equipo es de 600 kg/h. (QIANG, 2023)

En la figura se presenta el evaporador de película descendente de la marca LONG QIANG.

Figura D

Evaporador de película descendente de la marca LONG QIANG



Nota. Tomado de: (QIANG, 2023).

- **Clarificación**

✓ Filtro de prensa: Se eligió un filtro dúplex de la marca Diemme Filtration modelo 1500 el cual permite una eliminación de contenido sólido de manera adecuada utilizando el filtro correcto, algunas de las características son:

- Es un equipo versátil lo que hace que se adapte a los requerimientos particulares de cada proceso.
- Es un equipo totalmente automático donde en cada ciclo tiene tiempos muertos muy reducidos, la operación de descarga de la torta es rápida e instantánea.
- El volumen de la torta de filtración está entre 900 y 2.895 L/h.
- El número de placas está entre 17 y 56.
- La superficie de filtración está entre 60-190 m².
- Cuenta con un sistema de protección del sistema hidráulico. (Filtration, 2023)

En la figura se muestra el filtro marca Diemme Filtration modelo 1500.

Figura E

Filtro de prensa marca Diemme Filtration modelo 1500



Nota. Tomado de: (Filtration, 2023).

- **Clarificación**

- ✓ Filtro de membrana: se utiliza un filtro de la marca FOSTREAM modelo FSQ-UF-3000 el cual tiene una capacidad máxima de 3.000 L por hora, el material de la membrana es arena de cuarzo de carbono activado. Algunas de las principales características de este filtro son:

- La membrana de ultrafiltración es de lavado automático y lavado manual.
- El sistema está protegido cuando no hay energía, poca energía, mayor corriente eléctrica, cortocircuito, enredo de electricidad.
- Tiene un peso aproximado de 550 kg.
- En la figura se presenta el filtro de membrana marca FOSTREAM. (Fostream, 2024)

Figura F

Filtro de membrana marca FOSTREAM



Nota. Tomado de: (Fostream, 2024).

- **Fermentación**

✓ Fermentador: el siguiente fermentador es de la marca INOXIMEXICO el cual está fabricado en acero inoxidable. Algunas de las principales características de este equipo son:

- Su capacidad es de 2500 L.
- La presión máxima que trabaja es de 0,172 MPa.
- Este equipo incluye termópozo para colocar un sensor de temperatura.
- Incluye una chaqueta dimple jacket para recirculado de agua con glicol para el enfriamiento del equipo con aislamiento poliuretano de 0,08 m de espesor.
- Para proteger el fermentador se incluye una válvula de alivio bidireccional que libera 0,2 MPa de presión. (INOXIMEXICO, 2023)

En la figura se presenta el fermentador marca INOXIMEXICO.

Figura G

Fermentador marca INOXIMEXICO



Nota. Tomado de: (INOXIMEXICO, 2023).

- **Pulverización**

✓ Secador tipo Spray: este equipo es utilizado para la pulverización, es un secador de la marca INORA del modelo YS-FDG-120, sus principales características son:

- En este equipo se puede secar, granular y mezclar todo en un mismo equipo.
- El tiempo de secado del granulo húmedo es de 10 a 20 veces más rápido que en un horno común.
- El volumen del contenedor del pulverizador es de 400 L/h.
- La capacidad del equipo es de 50-120 kg/lote. (INORA, 2023)

En la siguiente figura se muestra este tipo de secador de la marca INORA modelo YS-FDG-120.

Figura H

Secador de la marca INORA modelo YS-FDG-120



Nota. Tomado de: (INORA, 2023).

- **Desalado**

✓ Electrodializador: para el desalado se utilizará un electrodializador ACILIZADOR ED de la marca ASTOM el cual se caracteriza porque utiliza membranas de intercambio iónico y energía eléctrica para poder separar sustancias iónicas en solución acuosa por lo cual permite hacer en las sustancias a tratar una correcta desalinización, concentración, refinación y recuperación eficiente. Algunas de las características de este equipo son:

- Permite separar selectivamente sustancias iónicas.
- Este equipo no requiere calentamiento ni presurización, lo que permite que los componentes se mantengan consistentes.
- Produce poco ruido y baja vibración además de que presenta un fácil manejo.
- La capacidad de procesamiento estándar es de 1.000 a 10.000 L/h. (CORPORATION, 2023)

En la figura se muestra el Electrodializador marca ACILIZADOR ED.

Figura I

Electrodializador marca ACILIZADOR ED



Nota. Tomado de. (CORPORATION, 2023)