



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**

**AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR,**

**MODALIDAD PRESENCIAL**

**TEMA:**

**OBTENCIÓN DE CONCENTRADO DE LACTOSA A PARTIR DE**

**LACTOSUERO DULCE**

**Trabajo De Titulación Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero**

**Agroindustrial**

**Línea De Investigación: Gestión, producción, productividad, innovación y**

**desarrollo socio económico**

**Autor: Cristian Bladimir Pillajo Ushiña**

**Director: Ing. Milton Jimmy Cuaran Guerrero Mg. I**

**Ibarra-2023**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1719905984		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Pillajo Ushiña Cristian Bladimir		
DIRECCIÓN:	Calle Galápagos y Pasaje 1		
EMAIL:	<a href="mailto:cbpillajou@utn.edu.ec">cbpillajou@utn.edu.ec</a>		
TELÉFONO FIJO:	022 138 568	TELÉFONO MÓVIL:	0986009718

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	OBTENCIÓN DE CONCENTRADO DE LACTOSA A PARTIR DE LACTOSUERO DULCE
AUTOR (ES):	Pillajo Ushiña Cristian Bladimir
FECHA: DD/MM/AAAA	2023-05-11
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agroindustrial
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Milton Jimmy Cuaran Guerrero Mg.I

**2. CONSTANCIAS**

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de mayo de 2023

EL AUTOR:

Nombre: Pillajo Ushiña Cristian Bladimir

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

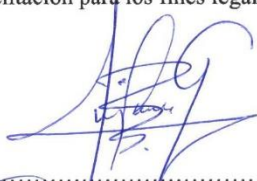
Ibarra, 11 de mayo de 2023

Ing. Jimmy Cuaran Guerrero Mg.I.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

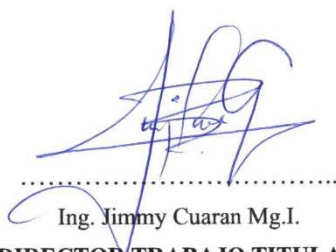


.....  
Ing. Jimmy Cuaran Guerrero Mg.I.

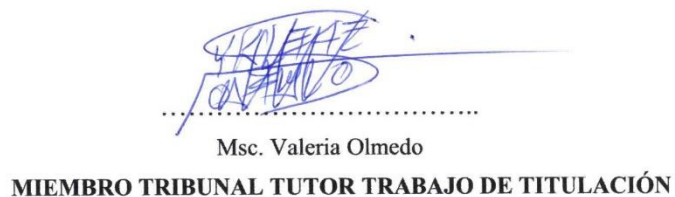
**DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN**

### APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

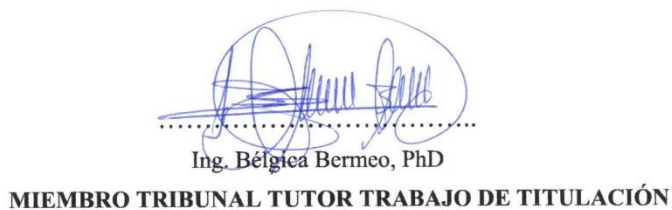
El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “**OBTENCIÓN DE CONCENTRADO DE LACTOSA A PARTIR DE LACTOSUERO DULCE**” elaborado por Pillajo Ushiña Cristian Bladimir, previo a la obtención del título de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL**, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



.....  
Ing. Jimmy Cuaran Mg.I.  
**DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN**



.....  
Msc. Valeria Olmedo  
**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**



.....  
Ing. Bélgica Bermeo, PhD  
**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **DEDICATORIA**

*A mi razón de vivir y motivación para no rendirme, que con su amor me ha enseñado y me sigue enseñando muchas cosas de la vida, mi hija Darleth Monserrath.*

*A mis padres Leonardo Pillajo y Margarita Ushiña, quienes con reglas y algunas libertades, me formaron como la persona que soy, motivándome siempre a alcanzar mis sueños.*

***Cristian Pillajo***

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a la Universidad Técnica del Norte y al personal de la carrera de Ingeniería Agroindustrial, principalmente a mis profesores que durante estos años me supieron impartir sus valiosos conocimientos, consejos y experiencias, para formarme como profesional.*

*Al Ing. Jimmy Cuaran Mg.I por guiarme en este trabajo de investigación, de igual manera a la MSc. Valeria Olmedo y a la Dra. Bélgica Bermeo, quienes en calidad de asesores me supieron aconsejar y direccionar mi investigación mediante sus conocimientos técnicos.*

*Igualmente quiero extender mi agradecimiento a quienes hicieron posible que esta meta se convirtiera en realidad por medio de su tiempo, consejos y conocimientos, a la Dra. Carmen Obando, Ing. Gilberto Vargas, Ing. Pedro Sandoval, Ing. Edilma Jurado y a la Ingeniera Cecilia Cadena.*

*De la misma manera, un agradecimiento especial a Nataly por todo el apoyo incondicional no solo para el desarrollo de este trabajo de investigación, sino también para mi vida; eres mi inspiración y mi motivación junto con mi hija Monserrath.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Capítulo 1 Marco Teórico.....	20
1.1	Importancia De La Lactosa En La Industria.....	20
1.1.1	Clasificación De La Lactosa .....	21
1.2	Lactosa De Grado Alimenticio .....	21
1.2.1	Lactosa de grado farmacéutico.....	21
1.2.2	Lactosa de grado industrial .....	22
1.2.3	Crecimiento De La Lactosa En El Mercado.....	23
1.3	Lactosuero .....	23
1.3.1	Clasificación Del Lactosuero .....	24
1.3.2	Composición Química Del Lactosuero .....	24
1.3.3	Proteínas Del Lactosuero .....	25
1.3.4	Lactosa En El Lactosuero.....	26
1.4	Tecnología De Fragmentación Y Uso Del Lactosuero.....	27
1.4.1	Fragmentación Por Membranas .....	28
1.4.2	Procesos Por Membranas Según El Flujo .....	28
1.4.3	Clasificación Del Proceso De Ultrafiltración Según El Circuito De Corrientes.....	30
1.4.3.1	Batch .....	30
1.4.3.2	Continua.....	30
1.4.4	Unidad De Filtración Celda Cf042ss .....	31
1.4.5	Clasificación De Los Procesos Con Membranas Según El Tamaño Molecular .....	34
1.4.5.1	Ultrafiltración.....	36
1.4.5.2	Factores que influyen en el proceso de ultrafiltración .....	37
1.4.5.3	Corrientes del proceso de ultrafiltración tangencial .....	39
1.5	Concentración Del Permeado De Lactosa .....	39
1.5.1	Proceso De Concentración En El Equipo De Evaporación De Película Ascendente Al Vacío.....	40
1.5.2	Descripción Del Equipo De Evaporación Armfield Ft22 .....	41
1.5.3	Concentrado De Lactosa .....	43
1.5.3.1	Factores que influyen en la vida útil del concentrado de lactosa.....	43
1.5.3.2	Medición de la vida útil del concentrado de lactosa .....	44

2	Capítulo 2 Materiales Y Métodos .....	46
2.1	Caracterización Del Área De Estudio .....	46
2.1.1	Materiales Y Equipos .....	46
2.1.2	Equipos Y Materiales De Laboratorio .....	47
2.2	Métodos .....	48
2.2.1	Caracterización Del Lactosuero Dulce.....	48
2.2.1.1	Acondicionamiento del lactosuero dulce .....	49
2.2.1.2	Flujograma de proceso .....	49
2.2.2	Evaluación De Parámetros De Separación Por Membranas En Un Equipo De Celda Cf042ss Para La Obtención De Un Permeado De Lactosa.....	50
2.2.2.1	Factores en estudio.....	51
2.2.2.2	Tratamientos .....	51
2.2.2.3	Diseño experimental .....	52
2.2.2.4	Características del experimento .....	52
2.2.2.5	Análisis estadístico.....	52
2.2.2.6	Variables de respuesta.....	53
2.2.3	Evaluación De Parámetros De Concentración Del Permeado De Lactosa En Un Evaporador De Película Ascendente Armfield Ft22.....	53
2.2.3.1	Factores en estudio.....	53
2.2.3.2	Tratamientos .....	54
2.2.3.3	Diseño experimental .....	54
2.2.3.4	Características del experimento .....	54
2.2.3.5	Análisis estadístico.....	55
2.2.3.6	Variables de respuesta.....	55
2.2.4	Determinación De Las Características Fisicoquímicas Del Concentrado De Lactosa. ....	56
2.2.5	Estimación De La Vida Útil Del Concentrado De Lactosa.....	56
2.3	Manejo Específico Del Experimento.....	57
2.3.1	Descripción Del Proceso .....	58
2.3.1.1	Recepción.....	58
2.3.1.2	Filtrado.....	59
2.3.1.3	Centrifugación.....	59



2.3.1.4	Microfiltración .....	60
2.3.1.5	Ultrafiltración.....	60
2.3.1.6	Concentración .....	61
2.3.1.7	Envasado .....	62
2.3.1.8	Almacenamiento .....	63
3	Capítulo 3 Resultados Y Discusión .....	64
3.1	Evaluación De Parámetros De Separación Por Membranas En El Equipo De Celda CF042SS Para La Obtención De Permeado De Lactosa .....	64
3.1.1	Caracterización Del Lactosuero .....	64
3.1.2	Acondicionamiento Del Lactosuero.....	65
3.1.3	Proceso De Ultrafiltración Tangencial.....	66
3.1.3.1	Cuantificación de lactosa presente en el permeado .....	67
3.1.3.2	Cuantificación de proteína presente en el permeado .....	70
3.2	Evaluación De Parámetros De Concentración Del Permeado De Lactosa En El Equipo Armfield Ft22, Evaporador De Película Ascendente Al Vacío.....	71
3.2.1	Cuantificación de lactosa presente en el concentrado de lactosuero.....	72
3.3	Determinación De Las Características Fisicoquímicas Del Concentrado De Lactosa ....	74
3.4	Estimación De La Vida Útil Del Concentrado De Lactosa .....	75
3.4.1	Análisis Microbiológicos Realizados Al Concentrado De Lactosa .....	75
3.4.2	Análisis Fisicoquímicos Realizados Al Concentrado De Lactosa .....	76
4	Capítulo 4 Conclusiones Y Recomendaciones .....	78
4.1	Conclusiones.....	78
4.2	Recomendaciones .....	79
5	Bibliografía .....	80
6	Anexos .....	90
6.1	Anexo1: Especificación De La Membrana De Ultrafiltración .....	90

## Índice De Tablas

<b>Tabla 1</b> Composición del lactosuero dulce y ácido .....	24
<b>Tabla 2</b> Proteínas del lactosuero.....	25
<b>Tabla 3</b> Características y especificaciones técnicas de celda CF042SS.....	31
<b>Tabla 4</b> Componentes de la unidad de filtración .....	33
<b>Tabla 5</b> Procesos con membranas .....	35
<b>Tabla 6</b> Especificaciones de las partes del Evaporador de Película Ascendente .....	42
<b>Tabla 7</b> Localización del experimento .....	46
<b>Tabla 8</b> Materia prima e insumos utilizados en el desarrollo de la investigación.....	47
<b>Tabla 9</b> Equipos utilizados durante la fase experimental .....	47
<b>Tabla 10</b> Materiales usados durante la fase experimental .....	48
<b>Tabla 11</b> Análisis fisicoquímicos del lactosuero dulce .....	48
<b>Tabla 12</b> Proceso de acondicionamiento del lactosuero dulce .....	49
<b>Tabla 13</b> Factores de estudio .....	51
<b>Tabla 14</b> Descripción de tratamientos en estudio.....	51
<b>Tabla 15</b> Características del experimento .....	52
<b>Tabla 16</b> Análisis de varianza (ADEVA).....	52
<b>Tabla 17</b> Variables de respuesta.....	53
<b>Tabla 18</b> Factores de estudio .....	54
<b>Tabla 19</b> Descripción de tratamientos en estudio.....	54
<b>Tabla 20</b> Características del experimento .....	55
<b>Tabla 21</b> Análisis de varianza (ADEVA).....	55
<b>Tabla 22</b> Análisis al concentrado de lactosa .....	56

<b>Tabla 23</b> Análisis para estudio de estabilidad .....	57
<b>Tabla 24</b> Características fisicoquímicas del lactosuero.....	64
<b>Tabla 25</b> Resultados del acondicionamiento del lactosuero.....	65
<b>Tabla 26</b> Lactosa presente en el permeado.....	67
<b>Tabla 27</b> Análisis de varianza para cuantificación de lactosa presente en el permeado .....	67
<b>Tabla 28</b> Prueba Tukey al 5 % para tratamientos en la cuantificación de lactosa presente en el permeado. ....	68
<b>Tabla 29</b> Porcentaje de proteína presente en el permeado .....	70
<b>Tabla 30</b> Análisis de varianza para cuantificación de proteína .....	70
<b>Tabla 31</b> Análisis de varianza para la cuantificación de lactosa presente en el concentrado.....	72
<b>Tabla 32</b> Caracterización fisicoquímica del concentrado de lactosa y el lactosuero dulce.....	74
<b>Tabla 33</b> Resultados microbiológicos de la estabilidad del concentrado de lactosa a 0, 15, 30 y 45 días .....	75
<b>Tabla 34</b> Resultados fisicoquímicos de la estabilidad del concentrado de lactosa a 0, 15, 30 y 45 días .....	77

## Índice De Figuras

Figura 1 <i>Aplicaciones para el uso de la lactosa</i> .....	20
Figura 2 <i>Estructura de la molécula de lactosa en configuraciones <math>\alpha</math> y <math>\beta</math></i> .....	26
Figura 3 <i>Sistemas de aprovechamiento del lactosuero</i> .....	27
Figura 4 <i>Esquema de Separación por Membranas</i> .....	28
Figura 5 <i>Sistemas de filtración</i> .....	29
Figura 6 <i>Principio básico del proceso industrial tangencial de membranas</i> .....	29
Figura 7 <i>Operaciones de filtración tangencial</i> .....	31
Figura 8 <i>Conjunto de cuerpo de celda de flujo cruzado CF042SS</i> .....	32
Figura 9 <i>Componentes y conexiones de la unidad de filtración Celda CF042SS</i> .....	33
Figura 10 <i>Procesos de separación por membrana, basados en la diferencia del tamaño de partícula</i> .....	35
Figura 11 <i>Fragmentación por proceso de ultrafiltración</i> .....	36
Figura 12 <i>Distribución de un evaporador de película ascendente</i> .....	40
Figura 13 <i>Componentes del evaporador de película ascendente - FT22 de Armfield</i> .....	41
Figura 14 <i>Métodos para la determinación de la vida útil</i> .....	44
Figura 15 <i>Diagrama de flujo del acondicionamiento del lactosuero dulce</i> .....	50
Figura 16 <i>Proceso de obtención de concentrado de lactosa</i> .....	58
Figura 17 <i>Recolección de lactosuero dulce</i> .....	59
Figura 18 <i>Filtración del lactosuero con tela liencillo</i> .....	59
Figura 19 <i>Descremado del lactosuero dulce</i> .....	60
Figura 20 <i>Filtración del lactosuero dulce con membranas de papel filtro</i> .....	60
Figura 21 <i>Ultrafiltración del lactosuero dulce</i> .....	61

Figura 22 <i>Concentración de permeado de lactosa</i> .....	62
Figura 23 <i>Envasado del concentrado de lactosa</i> .....	62
Figura 24 <i>Almacenamiento de concentrado de lactosa</i> .....	63
Figura 25 <i>Resultados de la recuperación de lactosa en el permeado de lactosuero</i> .....	69
Figura 26 <i>Resultados de la recuperación de proteína en el permeado de lactosuero</i> .....	71
Figura 27 <i>Contenido de lactosa en el concentrado de lactosuero</i> .....	73

## Resumen

En la actualidad uno de los problemas que enfrenta el sector lácteo es la generación de residuos, en el Ecuador se producen alrededor de 1.2 millones de litros de lactosuero por día, en esta fracción líquida aún se conservan cerca del 55 % de nutrientes de la leche, por esta razón se busca alternativas que permita un mejor aprovechamiento de este subproducto, como es el caso de la lactosa, componente de interés debido a las diversas maneras que se puede emplear; como lo es en la industria de alimentos, farmacéutica o aplicaciones técnicas.

El objetivo de la actual investigación fue el fraccionamiento y concentración de la lactosa presente en el lactosuero, mediante la combinación de procesos tecnológicos y la aplicación de un diseño estadístico completamente al azar (DCA), en donde, se empleó un proceso de ultrafiltración tangencial, consiguiendo separar las proteínas lácteas y obteniendo un permeado con una concentración de 6.42 % de lactosa, posteriormente se realizó el proceso de concentración en el evaporador de película ascendente, para elevar el contenido de lactosa en la solución, llegando a obtener finalmente un concentrado de 22.24 % de lactosa.

En este sentido el proceso de recuperación de la lactosa del lactosuero dulce puede ser una alternativa de inversión y desarrollo tecnológico si se buscan nuevas formas de valorizar los residuos y disminuir el impacto ambiental de los procesos de la industria láctea.

**Palabras clave:** Lactosuero, fraccionamiento, lactosa, permeado, concentrado, ultrafiltración tangencial, evaporación.

## Abstract

Currently one of the problems facing the dairy sector is the generation of waste, in Ecuador about 1.2 million liters of whey are produced per day, in this liquid fraction are still retained about 55% of milk nutrients, for this reason alternatives are sought that allow a better use of this by-product, as is the case of lactose, a component of interest due to the various ways that can be used; as it is in the food industry, pharmaceutical or technical applications.

The objective of the current research was the fractionation and concentration of the lactose present in the whey, through the combination of technological processes and the application of a statistical design completely at random (DCA), where, a tangential ultrafiltration process was used, achieving the separation of milk proteins and obtaining a permeate with a concentration of 6.42 % of lactose, then the concentration process was carried out in the rising film evaporator, to increase the lactose content in the solution, finally obtaining a concentrate of 22.24 % of lactose.

In this sense, the process of recovery of lactose from sweet whey can be an alternative for investment and technological development if new ways of valorizing waste and reducing the environmental impact of dairy industry processes are sought.

**Key words:** Whey, fractionation, lactose, permeate, concentrate, tangential ultrafiltration, evaporation.

## INTRODUCCIÓN

### **Problema De La Investigación**

El lactosuero es el subproducto líquido que queda después de la separación de la caseína de la leche, en el Ecuador se genera alrededor de 1.2 millones de litros por día, el uso de este subproducto genera discusión en el país, al existir prohibición en la venta de lactosuero a terceros con fines comerciales en la cadena láctea, esta medida se atribuye a la reducción del consumo nacional de leche en un 6.6 %, generando un grave impacto económico a las empresas grandes y artesanales dedicadas a la producción de quesos. La medida planteada en la prohibición de la comercialización del lactosuero genera un problema importante como contaminante orgánico, considerando que para obtener un kilogramo de queso es necesario el uso aproximado de 10 litros de leche, de los cuales se genera un promedio de 9 litros de lactosuero, el cual aún conserva el 55 % de nutrientes de la leche (Camara de Comercio de Guayaquil, 2019; Parra,2009).

En el país, gran parte de este producto no se comercializa y termina como alimento para animales y en el peor de los casos, vertiéndose sobre el sistema de alcantarillado o quebradas. Por reglamentación ecuatoriana el lactosuero debe pasar por un proceso de ablandamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales, estos tratamientos implican costos de producción convirtiéndose en un limitante para el crecimiento económico de las industrias lácteas.

El lactosuero posee alta calidad nutricional que no se ve aprovechado de la mejor manera, debido a la falta de información acerca de tecnologías que fomenten su industrialización.



## **Justificación**

La expectativa del presente trabajo de investigación es contribuir al aprovechamiento amigable del lactosuero, generando una opción viable, al hacer uso de los avances tecnológicos y aplicarlos en la obtención de un concentrado de lactosa, el cual se pueda comercializar sin ninguna restricción, y así, permita contribuir al crecimiento de las industrias lácteas, enfocado en las iniciativas mundiales relacionadas al desarrollo sostenible y sustentable.

Al aprovechar de una nueva línea de producción, utilizando el lactosuero dentro de la cadena láctea, se evitará enormemente el impacto ambiental que este ocasiona, al momento de ser vertido al ambiente sin ningún tratamiento de ablandamiento. De esta manera la imagen que se tiene del lactosuero cambiará radicalmente, pasando de ser catalogado como un problema para el ambiente, a una fuente aprovechable y beneficiosa por el contenido nutricional que puede aportar.

El concentrado de lactosa es un producto muy versátil que brinda numerosos beneficios funcionales y tiene varias áreas en las que se puede usar, tales como, el sector de alimentos: en la panificación, confitados, productos lácteos, mezclas secas, productos para niños, productos nutricionales, condimentos , saborizantes, alimento para ganado; en el sector farmacéutico como: diluyente en pastillas, relleno en fórmulas de capsulas y en el sector industrial para fermentación y aplicaciones técnicas.

## **Objetivos**

### *Objetivo General*

Obtener un concentrado de lactosa a partir de lactosuero dulce

### *Objetivos Específicos*

- Evaluar parámetros de separación por membranas para la obtención de un permeado de lactosuero.
- Evaluar parámetros de concentración del permeado de lactosuero en un evaporador de película ascendente.
- Determinar parámetros fisicoquímicos del concentrado de lactosa.
- Establecer la estabilidad del concentrado de lactosa con fines industriales.

## **Hipótesis**

### ***Hipótesis Alternativas (Ha)***

- En el proceso de separación por membranas en el equipo Celda CF042SS, la temperatura del lactosuero dulce y el caudal de alimentación influyen sobre la cantidad de lactosa obtenida en el permeado.
- Durante el proceso de evaporación del permeado de lactosa en el evaporador al vacío de película ascendente, la presión de vapor y el flujo de alimentación influyen en la concentración del líquido.

### ***Hipótesis Nulas (Ho)***

- En el proceso de separación por membranas en el equipo Celda CF042SS, la temperatura del lactosuero dulce y el caudal de alimentación no influyen sobre la cantidad de lactosa obtenida en el permeado.
- Durante el proceso de evaporación del permeado de lactosa en el evaporador al vacío de película ascendente, la presión de vapor y el flujo de alimentación no influyen en la concentración del líquido.

## Capítulo 1

### Marco Teórico

#### 1.1 Importancia De La Lactosa En La Industria

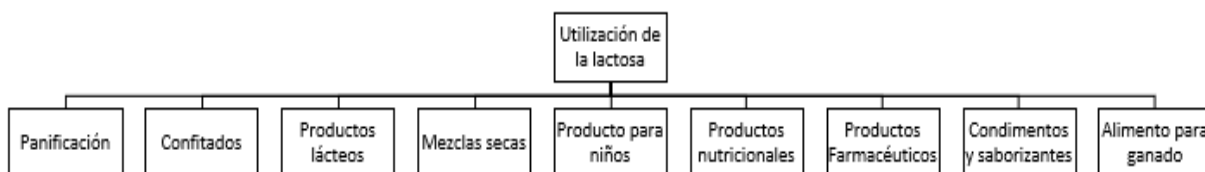
La lactosa se la conoce como azúcar de la leche, por su composición pueden llegar a satisfacer necesidades funcionales y nutricionales dentro de varios campos industriales, puede ser parte en formulaciones de mezclas y productos personalizados (U.S. Dairy Export Council, 2017).

En el campo de investigación la lactosa ocupa un lugar importante debido a la demanda de los mercados para obtener nuevos componentes, con el objetivo de valorizar a ciertas materias primas o racionalizar su uso (Fernández Díaz , 2009). Cuando se transforma de su forma nativa a productos como la lactulosa, GOS, lactosucrosa, lactil, ácido lacto biónico, tagatosa, epilactosa, fructo-oligosacáridos, jarabe de glucosa, entre otros, estos productos que en el mercado tienen alto valor comercial (Gómez & Sánchez, 2019).

En la industria de alimentos los productos de lactosa son muy valorados por formuladores de alimentos debido a sus numerosos beneficios por lo que son usados en una amplia variedad de aplicaciones, como se puede observar en la siguiente figura (U.S. Dairy Export Council, 2017).

#### Figura 1

*Aplicaciones para el uso de la lactosa*



Tomado de: U.S. Dairy Export Council (2017).

### ***1.1.1 Clasificación De La Lactosa***

La lactosa es un ingrediente versátil que brinda numerosos beneficios en los productos terminados, en el mercado existe una categorización de la lactosa, lactosa de grado alimenticio, lactosa de grado farmacéutico y lactosa de grado industrial (U.S. Dairy Export Council, 2017).

## **1.2 Lactosa De Grado Alimenticio**

La lactosa de grado alimenticio se produce al concentrar el suero o permeado (producto derivado de la producción del concentrado de proteínas del lactosuero) para saturar el contenido de lactosa, y después retirar y secar los cristales de lactosa. Existen diferentes tipos de lactosa, los cuales se producen a través de procesos especiales de cristalización, molienda, y tamizado fraccionado. Estos están clasificados de acuerdo al tamaño de partícula, la industria ofrece diversos tipos de lactosa que incluyen desde cristales superfinos hasta cristales extra gruesos. En todas las variedades, el contenido de lactosa es mayor a 99 % (Vitusa Global, 2022).

La lactosa de grado alimenticio tiene infinidad de usos, entre ellos se puede destacar:

- Panadería y bollería
- Confitería y dulces
- Mezclas secas, polvos instantáneos y condimentos
- Carnes y embutidos
- Productos dietéticos

### ***1.2.1 Lactosa de grado farmacéutico***

Para producir la lactosa de grado farmacéutico, se produce al concentrar el lactosuero o el permeado (producto derivado de la producción del concentrado de proteínas del suero lácteo) para sobresaturar la lactosa, y refinar, se seca y se muele los cristales de lactosa. La lactosa de grado

farmacéutico se produce conforme a especificaciones muy estrictas, como es, la distribución específica de forma y tamaño (U.S. Dairy Export Council, 2017).

La lactosa en polvo de grado farmacéutico es ampliamente utilizada en tabletas y tiene un bajo nivel de impurezas, además, mediante un proceso de oxidación catalítica selectiva se obtiene el ácido lactobiónico, el cual tiene alta capacidad antioxidante y de absorción de agua por lo que se lo utiliza en formulaciones cosméticas para la hidratación de la piel y prevención del fotoenvejecimiento. Asimismo, y debido a su capacidad protectora, también se lo usa en las soluciones de conservación de órganos para trasplante (Regenhardt, et al., 2014)

### ***1.2.2 Lactosa de grado industrial***

La lactosa de grado industrial incluye una variedad de productos de lactosa utilizados para la alimentación, la fermentación y aplicaciones técnicas. La lactosa de grado industrial se produce a partir del lactosuero desproteínizado, el cual se evapora, se cristaliza y se seca. El producto en polvo final contiene lactosa de más del 98 % de base seca (U.S. Dairy Export Council, 2017).

Empleando procesos de reducción catalítica, se puede transformar la lactosa en endulzante de bajo poder calórico (edulcorantes). Asimismo, por hidrogenación de la lactosa se obtiene lactitol el cual posee la mitad de calorías que el azúcar común (sacarosa). Por esta razón, es ampliamente utilizado como sustituto de la sacarosa en la elaboración de caramelos, jugos y galletas, debido a que no se altera en los procesos de horneado (Regenhardt, et al., 2014).

Además, la molécula de lactosa se puede desdoblar por hidrólisis en glucosa y galactosa. A través de la hidrogenación catalítica estos azúcares pueden ser convertidos en sorbitol y galactitol, que también se emplean como edulcorantes. Por oxidación selectiva, la glucosa se convierte en ácido glucónico empleado como agente acidificante biodegradable (Regenhardt, et al., 2014).

### ***1.2.3 Crecimiento De La Lactosa En El Mercado***

El mercado de producción mundial con respecto al volumen de lactosa que se produce lo lidera Estados Unidos, con un importante aumento de la capacidad para satisfacer la creciente demanda internacional. En 2014, la producción de lactosa estadounidense llegó a 526 000 toneladas métricas, un aumento del 28 % con respecto a las 412 000 toneladas métricas registradas en 2010. Estados Unidos representaron más del 40 % de la producción mundial en 2013. En Latinoamérica unos de los países que en los últimos años ha ganado terreno en el campo de la producción de lactosuero en polvo es Argentina (Cámara de Comercio de Quito, 2019).

En el Ecuador, la producción de lactosuero en polvo es limitada, de modo que, la obtención aislada de sus componentes también es escaso, debido a que no existe la suficiente tecnificación para procesar y abastecer la demanda local, lo que ha generado la necesidad de importar ese subproducto, notando que, en el año 2017 se registró importaciones por 59000 dólares, mientras que en el 2018 se registraron compras por 289000, demostrado un crecimiento sostenido en los últimos años (Cámara de Comercio de Quito, 2019)

### **1.3 Lactosuero**

Durante la elaboración de quesos, mediante la acción ácida o de enzimas (renina), la leche sufre una ruptura en el sistema coloidal, formando dos fracciones: una fracción sólida compuesta principalmente por proteínas insolubles, lípidos y minoritariamente de algunos constituyentes hidrosolubles; y una fracción líquida, correspondiente al lactosuero, un líquido traslucido verdoso amarillento, en cuyo interior se encuentran suspendidos todos los otros componentes nutricionales que no fueron integrados a la coagulación de la caseína (Adolfo, 2008; Araujo et al., 2013; Poveda, 2013).

### 1.3.1 Clasificación Del Lactosuero

Dependiendo de las características de la leche empleada para la producción de queso, tipo de queso elaborado y del proceso tecnológico empleado en la elaboración de queso, la composición nutricional del lactosuero puede variar considerablemente. A partir de estas diferencias al lactosuero se lo clasifica en dos tipos, el que se origina cuando la fracción de caseína de la leche se separa mediante acción enzimática del resto de las proteínas lácteas, se denomina lactosuero dulce; por otro lado, el lactosuero ácido se obtiene por la coagulación ácida de las caseínas a un pH<5 (Chacón, et al., 2017).

### 1.3.2 Composición Química Del Lactosuero

El lactosuero dispone de una amplia gama de componentes, de los cuales algunos poseen un alto valor nutricional y actividades biológicas que están aumentando el interés de la investigación por el lactosuero (Tsermoula et al., 2021). En la siguiente tabla se detalla la composición química del lactosuero.

**Tabla 1**

*Composición del lactosuero dulce y ácido*

<b>Componente</b>	<b>Lactosuero Dulce % peso/volumen</b>	<b>Lactosuero Ácido % peso/volumen</b>
Agua	93.1	93
Grasa	0.3	0.1
Proteína	0.9	0.6
Lactosa	4.9	4.3
Ceniza	0.6	0.46
Ácido láctico	0.2 – 0.3	0.7 – 0.8

Tomado de: Dragone et al. 2009; Proláctea S.A., (2019).



La principal diferencia entre los dos tipos de lactosuero radica en que el lactosuero dulce presenta ligeramente mayores contenidos de lactosa y proteína (Araujo et al., 2013).

### ***1.3.3 Proteínas Del Lactosuero***

Las proteínas séricas figuran el 55 % de los nutrientes de la leche, se consideran como proteínas globulares, solubles en agua, la característica que presentan estas proteínas es que no coagulan por cambios de pH y de esta forma se separan de la cuajada de forma manual, mecánica o por temperatura (Chacón, et al., 2017).

Las proteínas de lactosuero no constituyen la parte más abundante, pero se la considera la más atrayente para el sector económico y nutricional, siendo la proteína más abundante la  $\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -LG), con un peso molecular de 18.266 Da, en el lactosuero presenta dos isoformas ( $\beta$ -LG A y  $\beta$ -LG B), también se encuentra presente la  $\alpha$ -lactoalbúmina ( $\alpha$ -LA), siendo la segunda proteína más abundante con un peso molecular de 14.2 KDa, las inmunoglobulinas y albuminas, conforman el 13 y 7 % p/v, respectivamente. También, contiene otras proteínas en menor cantidad, entre las cuales están la lactoferrina, lacto peroxidasa y las lisozimas (Chacón, et al., 2017; Parra, 2009).

**Tabla 2**

#### *Proteínas del lactosuero*

<b>Fracción de proteínas</b>	<b>Peso Molecular (dáltones)</b>	<b>Porcentaje de proteínas total</b>
Beta-Lactoglobulinas	18300	50
Alfa-lactoalbúmina	14000	12
Inmunoglobulinas	15000-100000	10
Albumina de suero bovino	69000	5

Fracción de proteínas	Peso Molecular (dáltones)	Porcentaje de proteínas total
Proteasa-peptonas	4100-41000	23

Tomado de: Lynn, (2009).

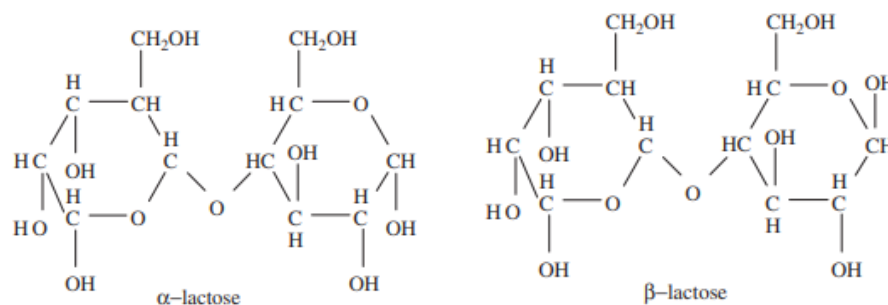
### 1.3.4 Lactosa En El Lactosuero

El lactosuero se compone principalmente de agua y lactosa, la lactosa es el principal componente sólido presente en el lactosuero, entre 45 y 50  $\text{g l}^{-1}$ , representando el 50 % de total de los sólidos, la lactosa es un azúcar disacárido formado por la unión de dos azúcares simples, la galactosa y la glucosa. La lactosa es un azúcar de bajo poder edulcorante debido a que tiene un poder edulcorante del 20 % y 30 % de la sacarosa respectivamente, por lo que su contribución a la dulzura en procesos industriales es irrelevante (Chacón, et al., 2017; Rocha et al., 2020).

El peso molecular de la lactosa es de 342 Da. Se diferencian estructuralmente sus dos formas isómeras ( $\alpha$  y  $\beta$ ) únicamente en la posición del grupo -OH en el carbono anomérico de la glucosa (Gómez et al., 2019).

### Figura 2

*Estructura de la molécula de lactosa en configuraciones  $\alpha$  y  $\beta$*



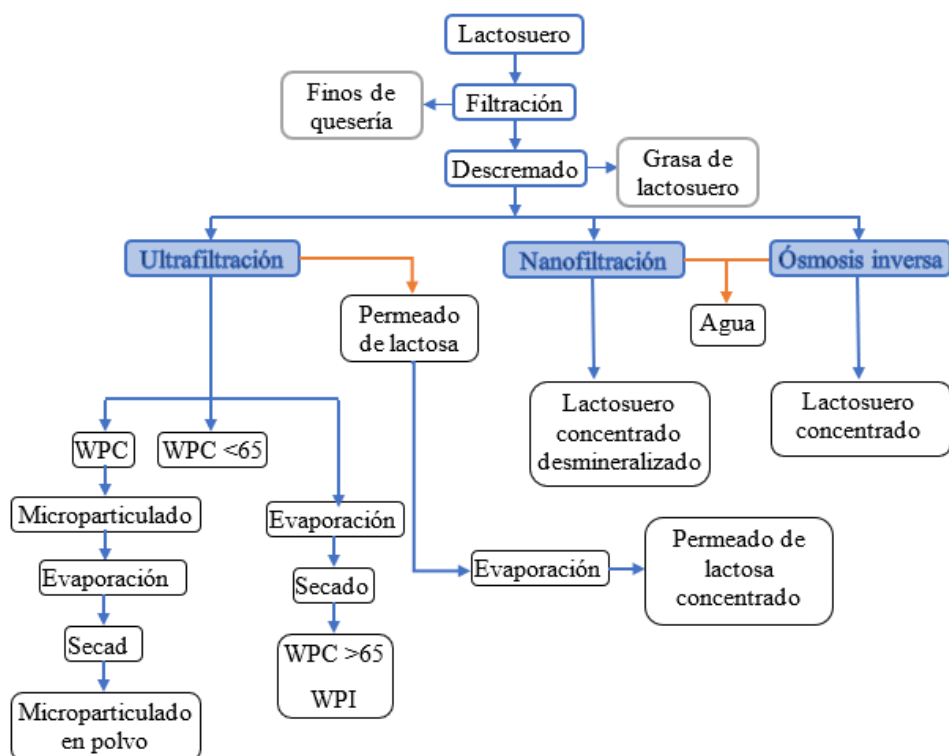
Tomado de: Gänzle, Haase, & Jelen, (2008).

## 1.4 Tecnología De Fragmentación Y Uso Del Lactosuero

En varios países el lactosuero se lo destina principalmente a la alimentación animal en forma directa, en la actualidad, la principal estrategia utilizada es valorizarlo mediante su transformación en ingredientes en polvo debido a su funcionalidad y nutrición que pueden aportar. La lactosa es el componente mayoritario del lactosuero después del agua, constituye una excelente materia prima para la producción de productos de alto valor agregado. La mayor parte de este azúcar puede ser recuperado a partir de procesos de separación por filtración (Castells, y otros, 2019).

**Figura 3**

*Sistemas de aprovechamiento del lactosuero*



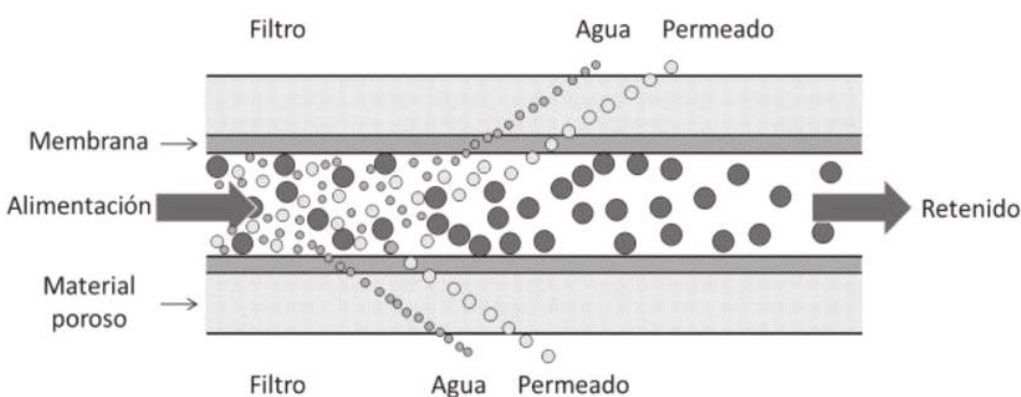
Tomado de: Food Industry, (2022).

### 1.4.1 Fragmentación Por Membranas

Las técnicas de separación por procesos con membranas, consisten en emplear un gradiente, ya sea de presión o electrostático, forzando el paso de componentes de una disolución a través de una membrana porosa semipermeable. La membrana opera como un tamiz, una fracción es retenida por la membrana lo que se la denomina como retenido (a veces llamado concentrado), y permeado (también llamado filtrado), la fracción que pasa a través de la membrana. Los componentes de interés pueden estar en el retenido o en el permeado o en ambas corrientes (Chacón, 2006; Dhineshkumar, 2017).

#### Figura 4

*Esquema de Separación por Membranas*



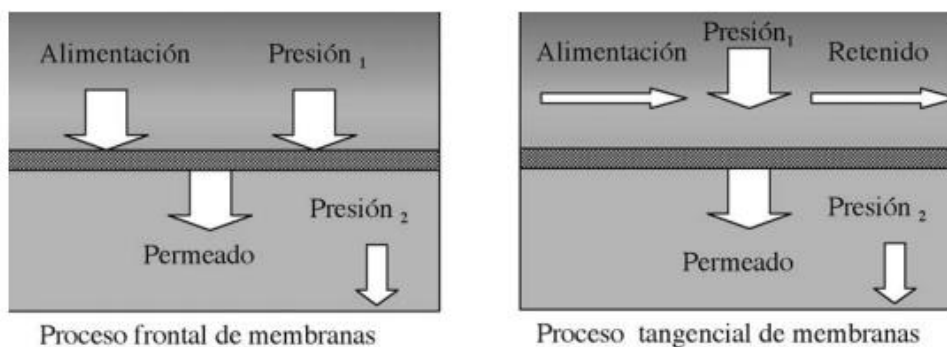
Tomado de: Ramírez Navas, (2011).

### 1.4.2 Procesos Por Membranas Según El Flujo

Según el flujo aplicado a la disolución en el sistema de separación por membranas se puede clasificar en un proceso de flujo tangencial o en un proceso de flujo frontal, el principio de cada uno de estos procesos se lo presenta en la figura 5.

## Figura 5

### Sistemas de filtración

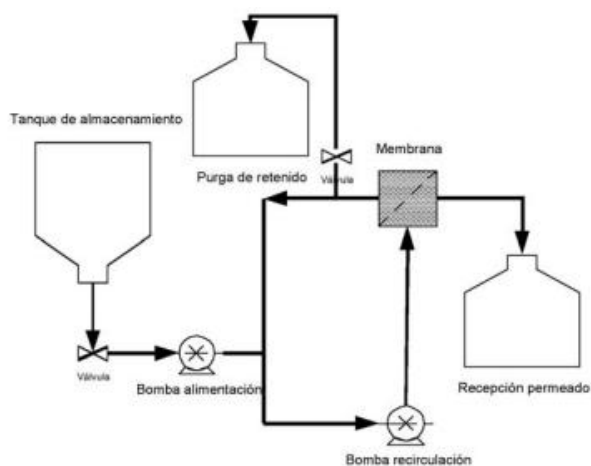


Tomado de: Chacón, (2006).

En la industria láctea, los sistemas de filtración normalmente se inclinan a los procesos tangenciales, donde el permeado se recolecta y el retenido por lo general se somete a varios ciclos de recirculación en función del producto final deseado. Un equipo de fragmentación por membranas de flujo tangencial se lo esquematiza de acuerdo a la figura 6.

## Figura 6

### Principio básico del proceso industrial tangencial de membranas



Tomado de: A. Chacón, (2006).

El sistema de separación por membranas aplicada a la industria láctea forma una herramienta valiosa para la concentración y el fraccionamiento de la leche o lactosuero en base a las diferencias

en el peso y tamaño molecular, una de las principales ventajas es que estos procesos no involucran un cambio de fase que pueda ocasionar el deterioro o modificación de las características fisicoquímicas y organolépticas deseables de la leche o de sus constituyentes (A. Chacón, 2006).

### ***1.4.3 Clasificación Del Proceso De Ultrafiltración Según El Circuito De Corrientes***

Camacho (2009) indica, según como se maneje con el retenido y el permeado durante el proceso de fraccionamiento con membranas se puede alcanzar diferentes resultados.

#### **1.4.3.1 Batch**

Se define un proceso tipo batch cuando el permeado se extrae y el retenido recircula, no se obtienen una nueva alimentación.

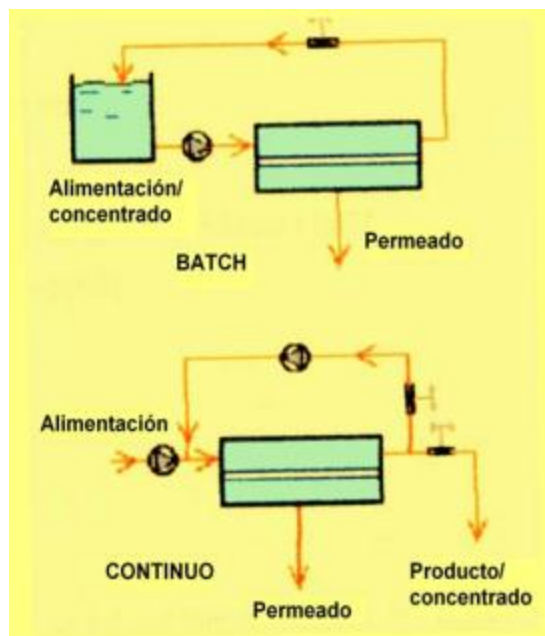
#### **1.4.3.2 Continua**

Un proceso de filtración continuo se da cuando se tiene una alimentación continua y puede haber o no recirculación de la corriente del retenido.

Teniendo en cuenta que en los dos tipos se puede operar en modo concentración, cuando el permeado no recircula al retenido, o en modo recirculación, cuando el permeado regresa al retenido (Arias & Espinel, 2006).

**Figura 7**

*Operaciones de filtración tangencial*



Tomado de: Arias & Espinel, (2006).

#### **1.4.4 Unidad De Filtración Celda Cf042ss**

La celda CF042SS es una unidad de filtración de flujo cruzado o tangencial a escala de laboratorio que está diseñada para evaluar membranas de lámina plana en una variedad de aplicaciones. En la siguiente tabla, se describe las características y especificaciones técnicas de la celda de filtrado (Sterlitech Corporation, 2018).

**Tabla 3**

*Características y especificaciones técnicas de celda CF042SS*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Área activa de la membrana	42 cm <sup>2</sup>
CF042SS	Acero inoxidable

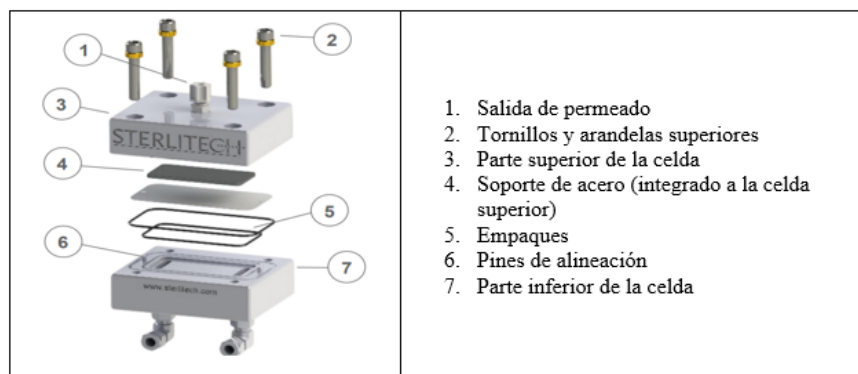
Parámetro	Descripción
Presión máxima	69 bar
Temperatura máxima	150 °C
Empaque	Viton
Rango de pH	Dependiendo de la membrana
Velocidad de flujo transversal	Variable
Dimensiones:	
Profundidad de la ranura	2.28 mm
Ancho de la ranura	39 mm

Tomado de: Sterlitech Corporation, (2018).

En la unidad de filtración el cuerpo de la celda consta de tornillos de apriete, placa superior, la parte superior de la celda, soporte de metal, filtro de membrana, juntas tóricas, fondo de la celda y la placa inferior; en la siguiente figura se puede observar un ensamblaje típico del cuerpo de la celda.

### Figura 8

*Conjunto de cuerpo de celda de flujo cruzado CF042SS*



Tomado de: Sterlitech Corporation, (2018).

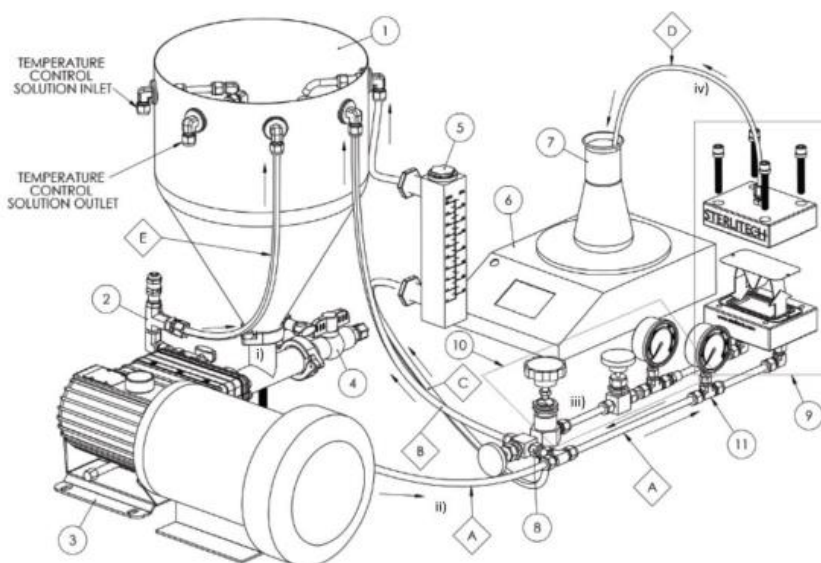
El cuerpo de la celda de flujo cruzado CF042SS juntamente con el equipo periférico constituye la unidad de filtración. Parte fundamental del equipo es la bomba de alimentación y el taque de



almacenamiento, brevemente en la siguiente figura se describe todos los componentes y conexiones de la unidad de filtración.

### Figura 9

#### *Componentes y conexiones de la unidad de filtración Celda CF042SS*



Tomado de: Sterlitech Corporation, (2018).

Los componentes y conexiones de la unidad de filtración que se observa en la figura 9, se detallan en la tabla 4.

### Tabla 4

#### *Componentes de la unidad de filtración*

Numero de ítem	Descripción
1	Tanque cónico de alimentación
2	Válvula de alivio
3	Bomba de alimentación
4	Válvula de drenaje
5	Flujómetro

<b>Numero de ítem</b>	<b>Descripción</b>
6	Balanza para medición de permeado
7	Colector del permeado
8	By-Pass de alimentación
9	Celda CF042SS para filtración de flujo cruzado
10	Válvulas de control y medidor de presión de concentrado
11	Medidor de presión de alimentación
A	Línea de alimentación
B	Línea de alivio (By-Pass) de alimentación
C	Línea de retorno
D	Línea de salida del permeado
E	Línea de alivio (bomba de alimentación)

Tomado de: Sterlitech Corporation, (2018).

#### ***1.4.5 Clasificación De Los Procesos Con Membranas Según El Tamaño Molecular***

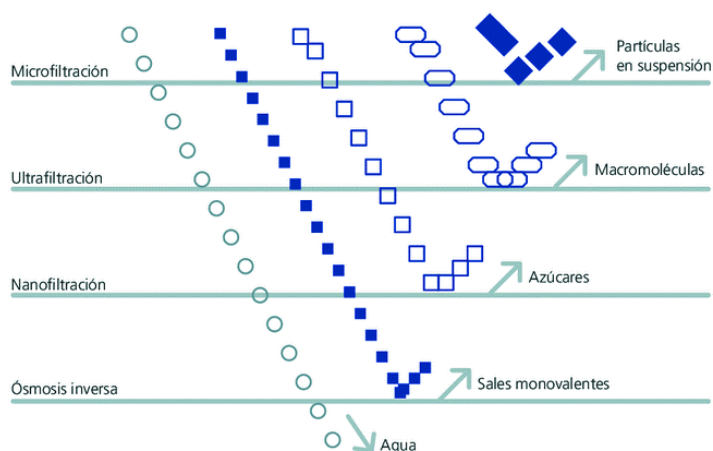
Los procesos de separación por membrana se clasifican de acuerdo al tamaño de las partículas o moléculas que son capaces de retener, los mismos que se detallan en la siguiente figura (Solís, Vélez , & Ramírez, 2017).

**Tabla 5***Procesos con membranas*

Microfiltración	Ultrafiltración	Nanofiltración
Partículas entre 0.05 y 10 $\mu\text{m}$	1000 a 200000 Da	Partículas inferiores a 0.001 $\mu\text{m}$
Presión entre 0.5 y 3 bar	Presión inferior a 1000 kPa	-

Tomado de: Solís, Vélez, & Ramírez Navas, (2017).

La principal fuerza impulsadora para la separación en estos procesos con membrana, es la presión transmembrana (TMP), que es la diferencia entre las presiones entre los lados del retenido y el lado del permeado, esta presión es utilizada como un parámetro importante asociándolo al rendimiento del proceso de membranas. La presión requerida para forzar el paso a través de alguna membrana suele ser proporcional al tamaño de los poros, siendo necesario aumentar sustancialmente su magnitud a medida que el tamaño de estos decrece (Chacón, 2006; Dhineshkumar, 2017).

**Figura 10***Procesos de separación por membrana, basados en la diferencia del tamaño de partícula*

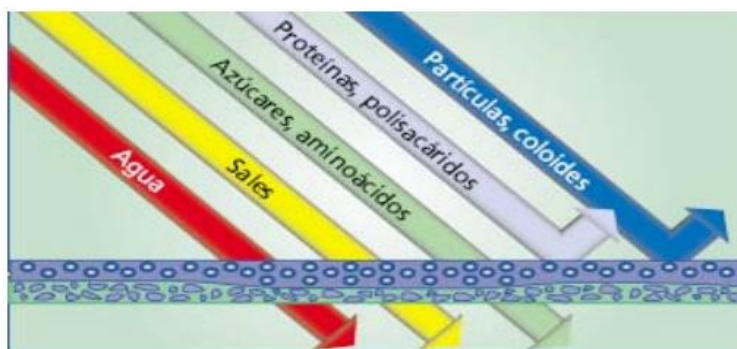
Tomado de: Willaarts, (2012).

### 1.4.5.1 Ultrafiltración

La ultrafiltración es una de las tecnologías que se ha introducido para su aplicación en la industria láctea. La ultrafiltración permite mejorar la calidad de los productos lácteos tradicionales, crear nuevas plantillas de alimentos, utilizar los subproductos lácteos (lactosuero) en una medida mucho mayor para la nutrición humana y desarrollar ingredientes lácteos que se utilizarán en la industria. Esta operación se usa para separar polímeros y almidones, dispersiones coloidales, microorganismos y mezclas de proteínas de diferentes pesos moleculares (Atra, et al., 2005).

#### Figura 11

*Fragmentación por proceso de ultrafiltración*



Tomado de: Teniza, (2008).

Como se observa en la figura 11, dependiendo el corte de poro de la membrana durante la ultrafiltración se concentran moléculas y macromoléculas de peso molecular entre 1000 y 200000 Da, por lo que la membrana tendrá un diámetro aproximado. dentro del rango de peso molecular que abarca la ultrafiltración se encuentran las proteínas del lactosuero, por lo que este método es aplicable para la industria láctea (Ramírez Navas, 2011).

Las moléculas que no atraviesan la membrana se conocen como material retenido o concentrado, por otra parte, los materiales disueltos de bajo peso molecular como sales, azúcares como la lactosa presente en el lactosuero y agua pasan a través de la membrana por acción de una fuerza impulsora

de presión hidrostática relativamente baja (100 - 1000 kPa); esta corriente que se forma se conoce como permeado o filtrado (Ramirez Navaz, Solís , & Vélez, 2018; Solís, Vélez , & Ramírez, 2017).

El rendimiento de las membranas de ultrafiltración se puede caracterizar en términos de flujo de permeado, retención de la membrana y rendimiento, parámetros que están determinados por la presión, el caudal de reciclado y la temperatura (Atra, et al., 2005).

#### **1.4.5.2 Factores que influyen en el proceso de ultrafiltración**

Durante la ultrafiltración existen varios factores que influyen sobre el comportamiento del proceso que a continuación se describen.

- **Flujo del permeado de la ultrafiltración:** El desarrollo de modelos que intentan predecir el comportamiento del proceso de filtración se basa en la relación entre la presión aplicada y la tasa de permeación (flujo de permeado). En una membrana ideal con poros uniformemente distribuidos y de igual tamaño, sin polarización de la concentración ni taponamientos y presión osmótica despreciable, el flujo del fluido a través de la membrana puede ser descrito por la siguiente expresión:

$$J = \frac{TMP}{\mu R_m}$$

**Donde:**

J= es el flujo volumétrico por unidad de área

TMP= es la presión transmembrana

U= viscosidad del solvente

El flujo del permeado se expresa en: l/h\*m<sup>2</sup>

- **Tamaño de poro:** Este término se aplica para el tamaño de partícula que la membrana es capaz de retener, si se emplea una membrana de 100 KDa, significa que no lograrán pasar partículas de más de 100 KDa por la membrana (Camacho, 2009).
- **Coefficiente de retención:** Es la eficiencia de la membrana en relación a un soluto específico, generalmente una sustancia no permeable, que relaciona la concentración del soluto en el permeado y en el retenido, para calcular el coeficiente de retención se aplica la siguiente formula:

$$R = \frac{1 - C_P}{C_R}$$

Donde  $C_P$  es la concentración del soluto en el permeado, y  $C_R$  su concentración en el retenido, una membrana totalmente retentiva es aquella que retiene el 100 % de las partículas y tendrá un coeficiente igual a 1 (Arias, 2006).

- **Factor de retención volumétrica (FRV):** Es la relación que existe entre el volumen de alimentación ( $V_a$ ) y el volumen de retenido ( $V_r$ ) que pasa a través del módulo (Camacho, 2009).

$$FRV = \frac{V_a}{V_r}$$

- **Temperatura:** La temperatura dentro del proceso del proceso de ultrafiltración cumple un papel muy importante al disminuir la viscosidad del fluido, razón por la cual se debe trabajar a la temperatura más alta, siempre y cuando permita conservar las propiedades organolépticas y nutricionales del producto, y no afectar la composición de la membrana (Camacho, 2009).

### 1.4.5.3 Corrientes del proceso de ultrafiltración tangencial

Aplicando el proceso de ultrafiltración aquellos componentes que traspasan la membrana por acción de la presión aplicada y debido a que poseen un tamaño molecular menor al de las porosidades de la misma, reciben el nombre de “permeado”, mientras que aquellos no permeables a la misma, se denominan “retenido” (Chacón A. , 2006).

- **Retenido:** se define a la corriente retenida en donde se encuentran las partículas que no atravesaron las paredes porosas de la membrana, estableciéndose gradualmente una torta de espesos creciente sobre el medio filtrante, en la presente investigación se espera obtener como retenido en la etapa de ultrafiltración una solución rica en proteínas del lactosuero.
- **Permeado de lactosuero:** Es una solución de alto contenido en lactosa, producido al retirar la proteína del lactosuero aplicando la técnica de separación por membranas que es la ultrafiltración, un método físico. La composición del permeado puede variar dependiendo del material original utilizado. El permeado de lactosuero presenta una buena solubilidad y un sabor muy agradable que hacen del permeado de lactosuero un excelente ingrediente para formulaciones (U.S. Dairy Export Council, 2016).

El permeado de lactosuero obtenido a través del proceso físico de ultrafiltración está constituido por agua, lactosa y minerales, la concentración de este subproducto es del 12 % de sólidos totales (Abate Daga, 2018).

## 1.5 Concentración Del Permeado De Lactosa

En la industria alimentaria, la evaporación siendo una de las operaciones unitarias más antiguas y ampliamente aplicadas, en el sector lácteo sus principales usos son para la conservación, facilitar el transporte, inducir la consistencia, el cambio de sabor, incrementar la estabilidad de los

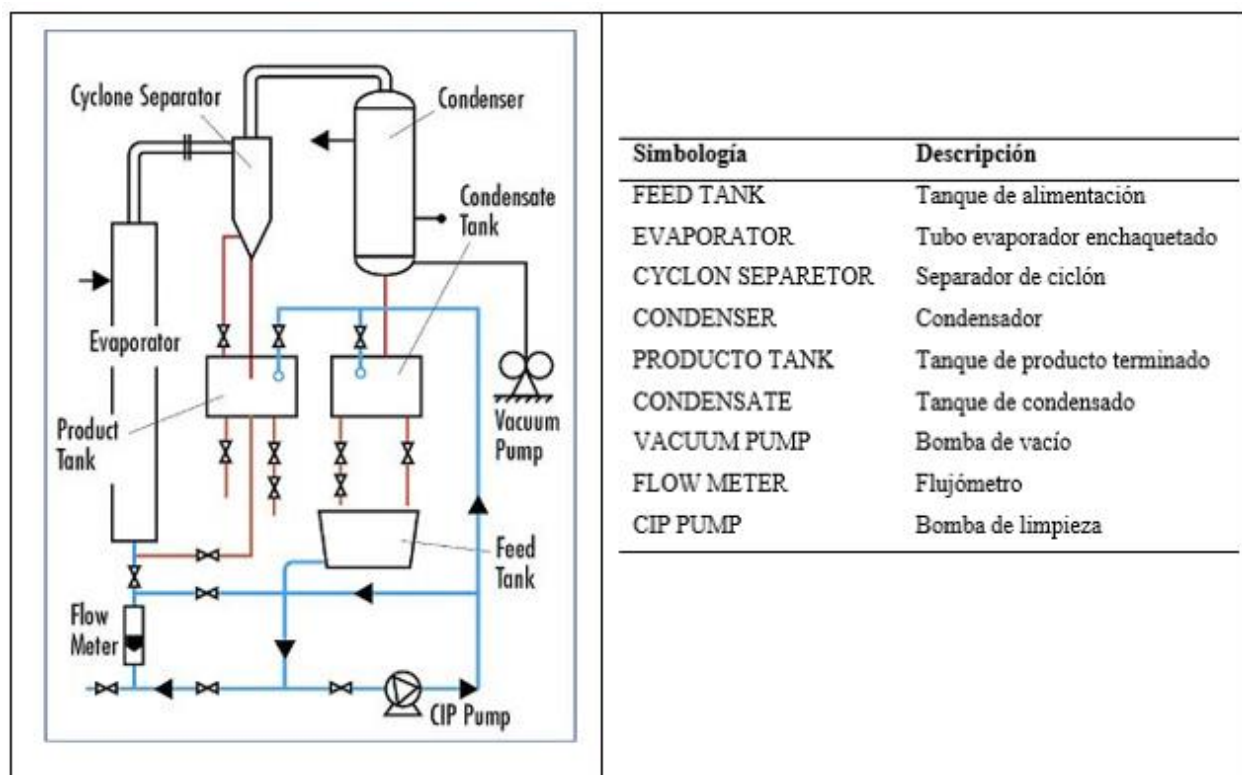
productos o como una etapa previa al proceso de secado, debido a que es más económico concentrar por aplicación de vapor, que por aplicación de aire (Vélez Ruiz, 2020).

En el sector lácteo existe una necesidad en donde se puede utilizar esta operación unitaria, que brinde la posibilidad de generar nuevas formas del aprovechamiento y conservación del lactosuero en forma íntegra o en sus diferentes fracciones, dependiendo de los procesos aplicados previamente (Abate Daga, 2018).

### 1.5.1 Proceso De Concentración En El Equipo De Evaporación De Película Ascendente Al Vacío

**Figura 12**

*Distribución de un evaporador de película ascendente*



Tomado de: Armfield, (2015).

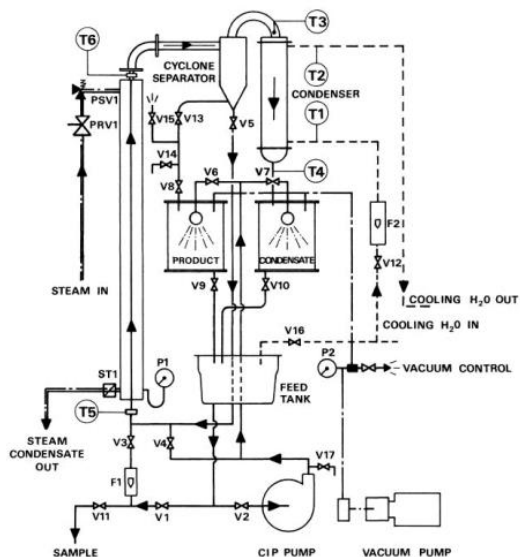


El proceso de concentración del permeado de lactosuero en el equipo de película ascendente se produce según como lo describe la distribución que se observa en la figura 12, en donde, el permeado de lactosuero (solución a concentrar), parte del tanque de alimentación (feed tank) del cual se dirige mediante un circuito cerrado de tuberías hacia la cámara de intercambio de calor (evaporador), en donde la solución se calienta y comienza la formación de vapor, la solución asciende por el centro del tubo por las paredes interiores en forma de película dirigiéndose al separador (cyclone separador), aquí se separan los vapores del líquido concentrado, el líquido concentrado se almacena en el tanque de concentrado (Product Tank), mientras que los vapores se envían a un condensador (condenser), en donde se enfría y se almacena en el tanque de condensados (Condensate Tank) (Armfield, 2015).

### 1.5.2 Descripción Del Equipo De Evaporación Armfield Ft22

**Figura 13**

*Componentes del evaporador de película ascendente - FT22 de Armfield*



Tomado de: Armfield, (2015).

El equipo de evaporación de película ascendente FT22 de Armfield, es un equipo en el cual se puede procesar muestras pequeñas hasta de un mínimo de dos litros en condiciones idénticas a equipos de escalas industriales, proporcionando información suficiente para relevar el efecto de las temperaturas de calentamiento sobre cualquier compuesto de interés del producto concentrado, los componentes de este equipo se pueden observar en la figura 13 y se detallan en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Especificaciones de las partes del Evaporador de Película Ascendente*

<b>Simbología</b>	<b>Descripción</b>
F1	Medidor de flujo
F2	Caudalímetro de área variable
P1	Manómetro de presión de vapor
P2	Vacuómetro (presión de vacío)
T1	Termocupla, temperatura de ingreso de agua (refrigerante) al condensador
T2	Termocupla, temperatura de salida de agua (refrigerante) del condensador
T3	Termocupla, temperatura de vapores que ingresan al condensador
T4	Termocupla, temperatura del líquido que sale del condensador
T5	Termocupla, temperatura de producto al tubo evaporador
T6	Termocupla, temperatura de salida de la película ascendente
PRV1	Válvula Reguladora de Presión de Vapor
PSV1	Válvula de Seguridad de Presión (alivio)
ST1	Trampa de Vapor
V1	Válvula de control de flujo
V2	Válvula de sistema de limpieza
V3	Válvula de control de flujo de alimentación
V4	Válvula de sistema de limpieza
V5	Válvula de retorno a concentrado

<b>Simbología</b>	<b>Descripción</b>
V6	Válvula de sistema de limpieza
V7	Válvula de sistema de limpieza
V8	Válvula de condensados del ciclón separador
V9	Válvula de sistema de limpieza
V10	Válvula de sistema de limpieza
V11	Válvula de drenaje
V12	Válvula de flujo de agua de refrigeración
V13	Válvula de sistema de muestreo

Tomado de: Armfield, (2015).

### ***1.5.3 Concentrado De Lactosa***

En particular, la lactosa es usada ampliamente en diferentes campos de la industria, al ser determinado como un compuesto de interés cuando se transforma de su forma nativa a otros productos, por lo cual, el presente trabajo de investigación está orientado a la obtención de un concentrado de lactosa mismo que se utilizará en posteriores investigaciones como materia prima para la obtención de compuestos con valor agregado (Gómez & Sánchez, 2019).

El concentrado de lactosa líquido se considera como una materia prima perecible manteniendo una considerable cantidad de agua presente, conservando un porcentaje entre 10 a 26 % de sólidos en peso húmedo, teniendo que ser almacenada en condiciones de refrigeración (Hall & Iglesias, 1997).

El concentrado de lactosa en su forma de concentrado y aislado puede ser usado en alimentos lácteos, productos cárnicos, panificados, confitería, bebidas (Gómez & Sánchez, 2019).

#### **1.5.3.1 Factores que influyen en la vida útil del concentrado de lactosa**

Los factores están categorizados en factores intrínsecos y extrínsecos. Los primeros están relacionados con las propiedades del concentrado de lactosa, entre ellos son, la actividad de agua,

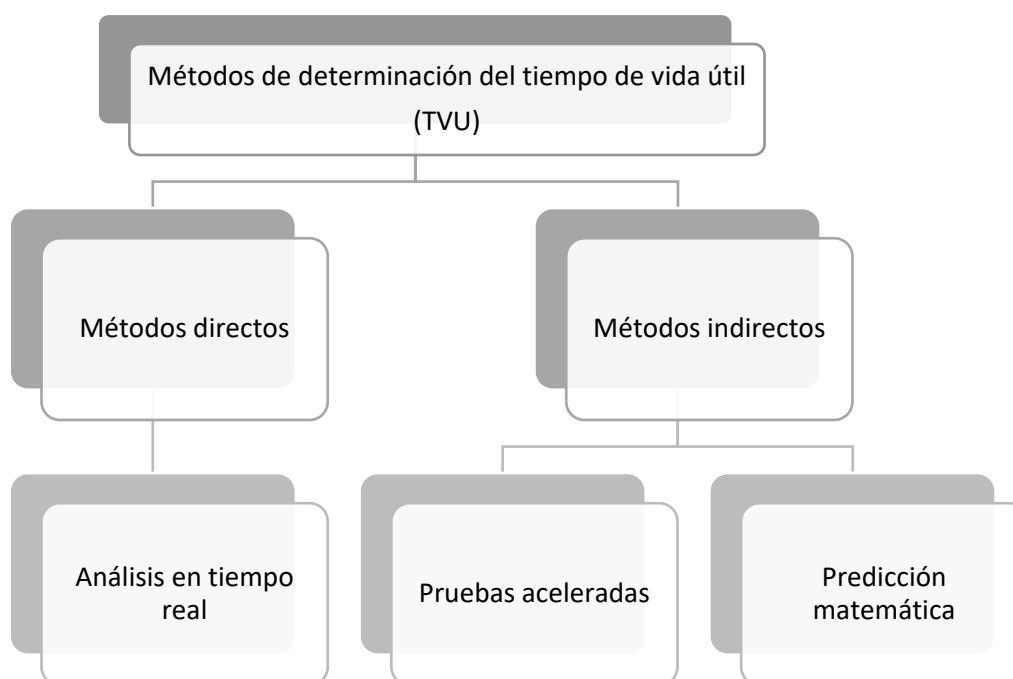
pH, acidez, nutrientes, micro flora natural, y uso de preservantes; los factores extrínsecos son aquellos que el producto tiene que enfrentarse durante todo el proceso y están relacionados con el perfil tiempo-temperatura, humedad relativa durante el procesamiento, almacenamiento y contaminación microbiana (Condori & Guerrero, 2019).

### 1.5.3.2 Medición de la vida útil del concentrado de lactosa

El concentrado de lactosa está conformado de un sistema activo en el que las reacciones microbiológicas, enzimática y fisicoquímica están interactuando de forma simultánea, haciendo complejo la determinación de su vida útil, el principio básico para determinar la vida útil del concentrado de lactosa está dado por el deterioro del mismo durante el tiempo de almacenamiento en condiciones de refrigeración (Condori & Guerrero, 2019).

**Figura 14**

*Métodos para la determinación de la vida útil*



Tomado de: Condori & Guerrero, (2019).

La determinación de la vida útil del concentrado de lactosa se puede realizar mediante paneles sensoriales, métodos instrumentales, mediciones físicas, mediciones químicas, mediciones microbiológicas; para la presente investigación se realizará mediante mediciones físicas, químicas y microbiológicas.

## Capítulo 2

### Materiales Y Métodos

#### 2.1 Caracterización Del Área De Estudio

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la ciudad de Ibarra, ubicada en la provincia de Imbabura. El desarrollo de la fase experimental se efectuó en la planta piloto de procesos agroindustriales de las Unidades Edu-productivas de la carrera de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, de la Universidad Técnica del Norte. En la tabla 7 se detalla los datos geográficos de la ubicación del experimento:

**Tabla 7**

*Localización del experimento*

DATOS	
Provincia	Imbabura
Cantón	Ibarra
Lugar	Unidades Edu-productivas
Temperatura	18 °C
Altitud	2250 m.s.n.m
HR promedio	73%
Latitud	0.3517 ° Norte
Longitud	78.1223 ° Oeste

Tomado de: INAMHI, (2021).

#### 2.1.1 Materiales Y Equipos

Para el desarrollo del trabajo de investigación se utilizó los siguientes materiales y equipos.

Materia Prima E Insumos

Las materias primas e insumos que se utilizaron en la investigación se enlistan en la tabla 8.

**Tabla 8***Materia prima e insumos utilizados en el desarrollo de la investigación*

<b>Materia prima e insumos</b>		
Lactosuero dulce	Cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> )	Hidróxido de sodio (NaOH)
Agua	Agua destilada	Fenolftaleína 1%
Solución buffer pH 4.01	Solución buffer pH 7.00	Solución buffer pH 10.00
Agua de peptona	Alcohol 70 %	Solución standard 60 ° Brix

**2.1.2 Equipos Y Materiales De Laboratorio**

En la tabla 9, se describe los equipos empleados en la presente investigación.

**Tabla 9***Equipos utilizados durante la fase experimental*

<b>Equipos</b>		
Refractómetro ABBE	Acidómetro	Potenciómetro digital
Termómetro digital	Balanza digital	Incubadora
Centrifugadora	Evaporador	Equipo de celda CF042SS
Cocina de inducción	Nevera	

En la tabla 10, se detalla los materiales que se utilizó durante el desarrollo de la etapa experimental.

**Tabla 10***Materiales usados durante la fase experimental*

<b>Materiales</b>		
Recipientes plásticos	Tela liencillo	Jarras plásticas
Toma muestras	Papel filtro grado 1	Bureta 250 ml
Recipiente inducción	Embudo	Pipeta volumétrica 9 ml
Membranas UF 100 KDa	Tubos de ensayo	Placas Compact dry YM
Placas Compact dry TC	Placas Compact dry EC	Envase de vidrio (botella)
Tapa corona TFS barnizada	Cooler	Pilas de gel

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Caracterización Del Lactosuero Dulce

El lactosuero dulce se obtuvo de la planta procesadora de queso fresco INPROLAC S.A., mismo que, se sometió a una previa caracterización fisicoquímica, que permitió conocer los parámetros iniciales de la investigación, mediante la toma de una muestra representativa a la cual se realizó análisis de: grasa, proteína, densidad relativa, pH, acidez, y lactosa.

Los análisis fisicoquímicos realizados al lactosuero dulce se representan en la tabla 11.

**Tabla 11***Análisis fisicoquímicos del lactosuero dulce*

<b>ANÁLISIS</b>	<b>MÉTODO/EQUIPO</b>	<b>UNIDAD</b>
Grasa	Ultrasónico / Lacto scan	%
Lactosa	Ultrasónico / Lacto scan	%
Proteína	Ultrasónico / Lacto scan	%
Acidez titulable	NTE INEN 13	°D



Densidad relativa	Lactodensímetro	g/ml
pH	Potenciómetro digital	Adimensional

### 2.2.1.1 Acondicionamiento del lactosuero dulce

El lactosuero dulce que se recolectó en recipientes plásticos, fue transportado hacia las unidades Edu-productivas, en donde se almacenó en un cuarto frío de los laboratorios de lácteos a fin de garantizar la estabilidad del mismo, y así, dar continuidad al acondicionamiento para el desarrollo de la investigación, en la tabla 12, se detalla los procesos que se aplicó para el acondicionamiento del lactosuero dulce.

**Tabla 12**

*Proceso de acondicionamiento del lactosuero dulce*

<b>PROCESO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
Prefiltración	Tela lienzo	Diámetro de poro 0.1 mm
Descremado	Centrifuga, modelo LWA 205	Numero de discos 19
Microfiltración	Equipo Celda CF042SS	Membrana de papel filtro grado 1

### 2.2.1.2 Flujograma de proceso

Las etapas que se consideraron en el diagrama de flujo que se aplicó en la investigación se detalla en la siguiente figura.

**Figura 15**

*Diagrama de flujo del acondicionamiento del lactosuero dulce*



La etapa del acondicionamiento de la materia prima es una parte importante dentro del trabajo de investigación, permitiendo separar del lactosuero dulce los sólidos suspendidos como grasa solidificada, caseinatos e impurezas, mismos que, al estar presentes en el lactosuero dulce, puede ocasionar variaciones durante el proceso de ultrafiltración, el principal defecto es la colmatación, al saturarse de manera rápida las membranas y así, modifican el flujo constante del proceso.

### ***2.2.2 Evaluación De Parámetros De Separación Por Membranas En Un Equipo De Celda Cf042ss Para La Obtención De Un Permeado De Lactosa***

Para el desarrollo de la investigación se dividió la parte experimental en dos etapas, como primera etapa experimental se comprendió la obtención de un permeado de lactosa en el equipo de celda CF042SS, para ello se definió un diseño experimental que se presenta a continuación.

### 2.2.2.1 Factores en estudio

Se estableció como factores en estudio: dos temperaturas del lactosuero y dos caudales de alimentación, como se muestra a continuación en la tabla 13.

**Tabla 13**

*Factores de estudio*

<b>Descripción</b>	<b>Factores en estudio</b>
<b>Factor A</b>	<b>Temperatura</b>
	25 ° C
	30 ° C
<b>Factor B</b>	<b>Caudal de alimentación</b>
	3 l/min
	4 l/min

### 2.2.2.2 Tratamientos

A continuación, en la tabla 14, se detalla los tratamientos resultantes de la combinación de los factores mencionados.

**Tabla 14**

*Descripción de tratamientos en estudio*

<b>Tratamientos</b>	<b>Descripción</b>
T1	A1B1 Lactosuero dulce a 25 ° C con un caudal de 3 l/min
T2	A2B1 Lactosuero dulce a 30 ° C con un caudal de 3 l/min
T3	A1B2 Lactosuero dulce a 25 ° C con un caudal de 4 l/min
T4	A2B2 Lactosuero dulce a 25 ° C con un caudal de 4 l/min

### 2.2.2.3 Diseño experimental

Para el análisis de datos en esta investigación se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial A x B con tres repeticiones en cada nivel, obteniendo cuatro tratamientos en estudio, con un total de 12 unidades experimentales.

### 2.2.2.4 Características del experimento

En la Tabla 15, se presenta el procedimiento estadístico utilizado en la medición de la variación de la primera etapa del experimento.

**Tabla 15**

*Características del experimento*

<b>Descripción</b>	
Tratamientos	4
Repeticiones	3
Unidades experimentales	12

### 2.2.2.5 Análisis estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos de forma experimental se aplicó un Análisis de varianza (ADEVA) como se muestra en la tabla 16.

**Tabla 16**

*Análisis de varianza (ADEVA)*

<b>Fuentes de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>
Total	11
Tratamientos	3
Factor A (temperatura del lactosuero dulce)	1

<b>Fuentes de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>
Factor B (caudal de alimentación)	1
Interacción A x B	1
Error experimental	8

### 2.2.2.6 Variables de respuesta

En la tabla 17, se detalla las variables evaluadas al final de la primera fase experimental.

**Tabla 17**

*Variables de respuesta*

<b>Variables</b>	<b>Método/Equipo</b>
Lactosa	Ultrasónico / Lacto scan
Proteína	Ultrasónico / Lacto scan

### 2.2.3 *Evaluación De Parámetros De Concentración Del Permeado De Lactosa En Un Evaporador De Película Ascendente Armfield Ft22*

La segunda etapa experimental de la investigación se la realizó en un evaporador de película ascendente, el detalle del diseño experimental que se aplicó se detalla a continuación:

#### 2.2.3.1 Factores en estudio

Como factores en estudio en la segunda etapa experimental fueron: dos presiones de vapor y dos caudales de alimentación, como se muestra en la tabla 18.

**Tabla 18***Factores de estudio*

<b>Descripción</b>	<b>Factores en estudio</b>
Factor A	Presión de vapor 0.8 bar 1.0 bar
Factor B	Caudal de alimentación 4 l/h 6 l/h

**2.2.3.2 Tratamientos**

En la tabla 19, se detallan los tratamientos de la combinación de los factores mencionados:

**Tabla 19***Descripción de tratamientos en estudio*

<b>Tratamientos</b>		<b>Descripción</b>
T1	A1B1	Presión de vapor a 0.8 bar con un caudal de 4 l/h
T2	A2B1	Presión de vapor a 1.0 bar con un caudal de 4 l/h
T3	A1B2	Presión de vapor a 0.8 bar con un caudal de 6 l/h
T4	A2B2	Presión de vapor a 1.0 bar con un caudal de 6 l/h

**2.2.3.3 Diseño experimental**

Para el análisis de datos en esta investigación se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial A x B con tres repeticiones en cada nivel, obteniéndose cuatro tratamientos en estudio, con un total de 12 unidades experimentales.

**2.2.3.4 Características del experimento**

Las características de la segunda etapa del experimento se detallan en la tabla 20.

**Tabla 20***Características del experimento*

<b>Descripción</b>	
Tratamientos	4
Repeticiones	3
Unidades experimentales	12

**2.2.3.5 Análisis estadístico**

Para el análisis de los datos obtenidos de forma experimental se utilizó un análisis de varianza (ADEVA) como se muestra en la tabla 21.

**Tabla 21***Análisis de varianza (ADEVA)*

<b>Fuentes de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>
Total	11
Tratamientos	3
Factor A (presión de vapor)	1
Factor B (caudal de alimentación)	1
Interacción A x B	1
Error experimental	8

**2.2.3.6 Variables de respuesta**

La variable de respuesta en esta etapa de investigación es la presencia de lactosa y se lo valoró mediante el equipo Lacto scan.

### 2.2.4 *Determinación De Las Características Fisicoquímicas Del Concentrado De Lactosa*

Se determinó las características fisicoquímicas al mejor tratamiento que alcanzó el mayor porcentaje de lactosa, los análisis se detallan en la tabla 22.

**Tabla 22**

*Análisis al concentrado de lactosa*

ANÁLISIS	MÉTODO/EQUIPO	UNIDAD
Grasa	Ultrasónico / Lacto scan	%
Lactosa	Ultrasónico / Lacto scan	%
Proteína	Ultrasónico / Lacto scan	%
Acidez titulable	NTE INEN 13	° D
Densidad relativa	Lactodensímetro	g/ml
Ph	Potenciómetro digital	Adimensional

### 2.2.5 *Estimación De La Vida Útil Del Concentrado De Lactosa*

Considerando que, el concentrado de lactosa es un producto perecible, fue necesario determinar el tiempo de vida útil. Por lo que, se seleccionó el mejor tratamiento de acuerdo al mayor contenido de lactosa, mismo que, se envasó en botellas de cristal con tapa corona en TFS barnizada con cromo con liner PED, el cual, se sometió a un estudio de vida útil normal de 45 días bajo refrigeración ( $4\pm 2$  ° C), con el fin de analizar los cambios fisicoquímicos y microbiológicos durante el transcurso del tiempo antes mencionado, para lo cual, se planteó cortes, a los 15, 30 y 45 días, en la tabla 23, se describe los análisis.



**Tabla 23***Análisis para estudio de estabilidad*

<b>Análisis</b>	<b>Método/Equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Tiempo de evaluación</b>
Acidez titulable	NTE INEN 13	°D	0 días, 15 días, 30 días, 45 días
pH	Potenciómetro	Adimensional	0 días, 15 días, 30 días, 45 días
Aerobios mesófilos	NTE INEN 1529-5	ufc/g	0 días, 15 días, 30 días, 45 días
Mohos y levaduras	NTE INEN 1529-10	ufc/g	0 días, 15 días, 30 días, 45 días

### **2.3 Manejo Específico Del Experimento**

Para el desarrollo experimental de la investigación planteada que permitió la obtención de un concentrado de lactosa, se manejó bajo el proceso que se detalla en el diagrama de la figura 17, en el cual, se describe los subprocesos que se abordaron para el cumplimiento de los objetivos e hipótesis planteadas en la investigación.

**Figura 16**

*Proceso de obtención de concentrado de lactosa*



### **2.3.1 Descripción Del Proceso**

Las etapas del diagrama de flujo que se empleó para la obtención de concentrado de lactosa se detallan a continuación.

#### **2.3.1.1 Recepción**

Como se muestra en la figura 18, el lactosuero dulce se recolectó en recipientes plásticos limpios en las instalaciones de la industria de productos alimenticios INPROLAC S.A., ubicada en el cantón Cayambe, el mismo que se transportó en condiciones de refrigeración a los laboratorios de lácteos de las Unidades Edu-productivas de la carrera de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, de la Universidad Técnica del Norte.

**Figura 17**

*Recolección de lactosuero dulce*

**2.3.1.2 Filtrado**

La operación de filtrado se ejecutó con ayuda de teta liencillo, como se observa en la figura 18, el lactosuero dulce pasó por la tela y en la misma queda los restos de caseinatos precipitados (cuajada) e impurezas, de esta operación se obtiene como resultado un lactosuero limpio de macromoléculas.

**Figura 18**

*Filtración del lactosuero con tela liencillo*

**2.3.1.3 Centrifugación**

El lactosuero se sometió a un proceso de descremado en el equipo centrifuga LWA 205 de 19 discos, con la finalidad de disminuir el porcentaje de la materia grasa láctea.

**Figura 19**

*Descremado del lactosuero dulce*

**2.3.1.4 Microfiltración**

El proceso de microfiltración se realizó en el equipo Celda CF042SS, usando papel filtro de grado 1, el mismo que, se ajustó al tamaño de las dimensiones del área activa de la celda del equipo ( $42 \text{ cm}^2$ ), para el proceso de microfiltración se aplicó una presión de (300 psi) y un caudal de alimentación del lactosuero dulce de 3 l/min.

**Figura 20**

*Filtración del lactosuero dulce con membranas de papel filtro*

**2.3.1.5 Ultrafiltración**

Como se observa en la figura 21, durante esta etapa el lactosuero dulce se sometió a un proceso de filtración en el equipo de celda CF042SS con una membrana con un corte de poro

de 100 KDa, resultando de esta etapa la obtención de dos corrientes, una solución denominada como retenido con un interesante porcentaje en proteínas y por otro lado una solución denominada permeado rico en lactosa.

### **Figura 21**

*Ultrafiltración del lactosuero dulce*



#### **2.3.1.6 Concentración**

La concentración se realizó en el evaporador de película ascendente ARMFIELD FT22, el permeado de lactosa partió desde el tanque de alimentación dirigiéndose bajo un circuito cerrado de tuberías a la cámara de intercambio de calor, en donde el permeado de lactosa se calentó y mediante la formación de vapor, el permeado subió por el centro del tubo por las paredes internas en forma de película y se dirigió al separador, de donde se obtuvo dos corrientes, el concentrado de lactosa y el condensado.

**Figura 22**

*Concentración de permeado de lactosa*

**2.3.1.7 Envasado**

El concentrado de lactosa se envasó en condiciones higiénicas satisfactorias, en recipientes de vidrio (botellas de cristal) selladas con tapa corona en TFS barnizada con cromo con liner PED.

**Figura 23**

*Envasado del concentrado de lactosa*



### 2.3.1.8 Almacenamiento

El concentrado de lactosa se almacenó en condiciones de refrigeración.

#### Figura 24

*Almacenamiento de concentrado de lactosa*



## Capítulo 3

### Resultados Y Discusión

#### 3.1 Evaluación De Parámetros De Separación Por Membranas En El Equipo De Celda CF042SS Para La Obtención De Permeado De Lactosa

Para lograr un buen proceso de ultrafiltración tangencial en el lactosuero, fue necesario el cumplimiento de varios procesos preliminares que a continuación se detallan.

##### 3.1.1 Caracterización Del Lactosuero

Es necesario establecer la caracterización fisicoquímica de la materia prima, para conocer los valores iniciales de los componentes con los que se inicia la investigación, en la tabla 24, se muestra los resultados.

**Tabla 24**

*Características fisicoquímicas del lactosuero*

Componentes del lactosuero				
pH (Adimensional)	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Referencia
6.68	0.30	0.89	4.96	Presente estudio
6.40 – 6.80	Máx. 0.30	Min. 0.80	Máx. 5.00	NTE INEN 2594:2011
6.45 – 6.60	0.30	0.90	4.90	Proláctea S.A.

El resultado del análisis de pH del lactosuero se encuentra dentro de los parámetros que establece la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2594:2011, clasificándolo como un lactosuero dulce. Además, los resultados de grasa, proteína y lactosa, como se observa en la tabla 24, se asemejan a los resultados reportados por Proláctea (2019) y se observa que el componente que se encuentra en mayor proporción, es la lactosa.



Parra Huertas (2009) indica, la particularidad del lactosuero dulce es contener un mayor porcentaje de lactosa que el ácido, cualidad importante en su elección para el desarrollo del proceso de obtención del permeado rico en lactosa.

### **3.1.2 Acondicionamiento Del Lactosuero**

El lactosuero al ser una solución compleja por estar conformada por componentes de diferente tamaño, la presencia de algunos de estos elementos interfieren de manera negativa en el proceso de ultrafiltración, siendo necesario aplicar el proceso de filtración, descremado y el de microfiltración (Ramírez, 2011; Kreczmann et al. 2015).

En la tabla 25, se describe los resultados obtenidos durante el acondicionamiento de la materia prima.

**Tabla 25**

*Resultados del acondicionamiento del lactosuero*

<b>Proceso</b>	<b>Especificación</b>	<b>Resultado</b>
Prefiltración	Tela liencillo (0.1 mm)	Lactosuero libre de partículas visibles de finos de caseína e impurezas
Descremado	Centrifuga, modelo LWA 205 Equipo Celda CF042SS	inicial 0.30 % - final 0.20 %
Microfiltración	Membranas de papel filtro grado 1	Separación de partículas finas

En la prefiltración se separó residuos, en su mayor parte comprendían a finos de caseína, con un porcentaje de 0.007 %, se considera un valor despreciable a nivel de laboratorio al ser menor al 0.01 %, el valor alcanzado es despreciable en cantidad, pero la presencia de estas moléculas genera problema de colmatación en el proceso de separación por membranas (Camacho, 2009).

En el proceso de centrifugación, se logró la reducción del 0.1 % de la materia grasa del lactosuero, alcanzando una separación del 33.33 %, el valor que se obtiene en la investigación difiere al reportado en la investigación de (Muñi et al., 2005), en donde consiguió llegar a un porcentaje de separación del 91.67 %.

Como etapa final en el acondicionamiento de la materia prima, el lactosuero pasó por el proceso de microfiltración, en donde se consideró el factor de retención volumétrica (FRV) como indicador del rendimiento del proceso.

Al equipo de microfiltración tangencial se alimentó con un volumen de 10 litros de lactosuero, resultado del proceso fue la recuperación de un volumen de permeado de 7.4 litros y 2.3 litros de retenido, durante el proceso existe una pérdida de volumen del 3 %, debiéndose a los volúmenes muertos que quedan en el equipo, el porcentaje de pérdida por mermas se asemeja a la pérdida de volumen reportado por Camacho (2009), donde, el porcentaje de pérdida fue del 5 %.

Mientras menor volumen de retenido se obtenga, mayor será el factor de retención volumétrica, indicando una mayor eficiencia en el proceso, en la investigación se obtuvo un FRV de 4.34 y un porcentaje de 74% de volumen de permeado recuperado, estos valores son similares a los reportados por Camacho (2009), donde, se logró una recuperación del 75 % y un FRV de 5.

### ***3.1.3 Proceso De Ultrafiltración Tangencial***

El proceso de ultrafiltración tangencial permitió el fraccionamiento del lactosuero, usando una membrana de lámina plana de umbral de corte de 100 KDa con las especificaciones detalladas en el anexo 1, este proceso permitió obtener dos corrientes, por un lado, se recolectó el permeado de lactosa y el retenido se recolectó después de varios ciclos de recirculación.

### 3.1.3.1 Cuantificación de lactosa presente en el permeado

En la tabla 26, se detalla los resultados obtenidos de lactosa presente en el permeado de lactosuero.

**Tabla 26**

*Lactosa presente en el permeado*

	<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>
1	A1B1	6.16
2	A2B1	5.86
3	A1B2	6.42
4	A2B2	6.11

El análisis de varianza que se realizó con los valores obtenidos en la etapa de ultrafiltración tangencial con respecto a la variable de lactosa, se presenta en la tabla 27.

**Tabla 27**

*Análisis de varianza para cuantificación de lactosa presente en el permeado*

<b>F.V.</b>	<b>S.C.</b>	<b>G.L.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F.C.</b>	<b>p-VALOR</b>
Tratamientos	0,4799	3	0,1600	31,8342	> 0,0001**
Factor A (temperatura)	0,2821	1	0,2821	56,1459	> 0,0001**
Factor B (caudal)	0,1976	1	0,1976	39,3300	0,0002**
I (A*B)	0,0001	1	0,0001	0,0265	0,8746 <sup>NS</sup>
Error	0,0402	8	0,0050		
Total	0,5201	11			

**\*\*:** Altamente significativo

Una vez realizado el análisis de varianza, se determinó en cuanto a los factores A (temperatura de lactosuero) y factor B (caudal de alimentación), existe alta significación estadística.

Al existir significación estadística para los tratamientos se realizó una prueba de Tukey al 5 %, identificando el mejor tratamiento dentro de la primera fase en la investigación.

**Tabla 28**

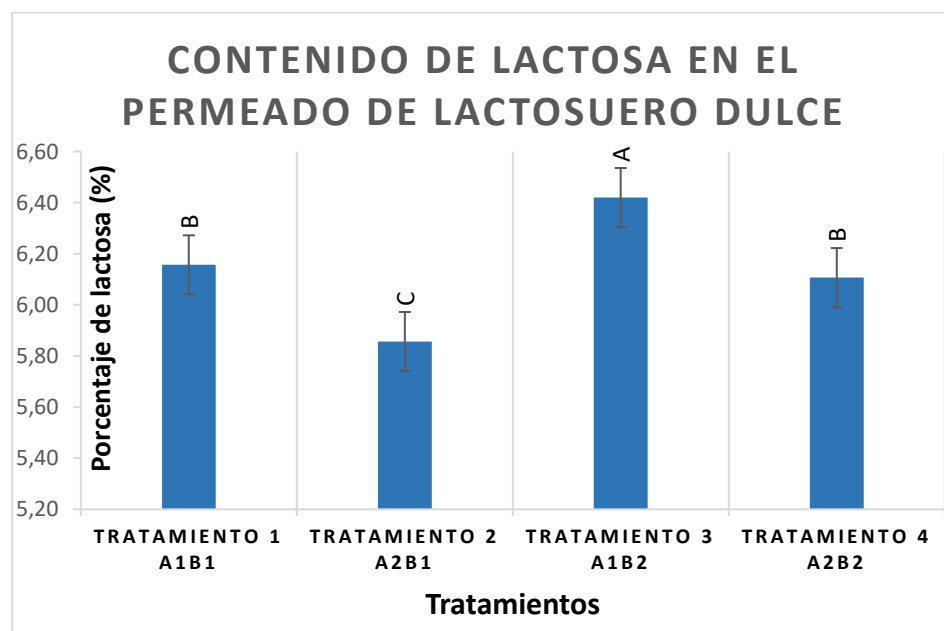
*Prueba Tukey al 5 % para tratamientos en la cuantificación de lactosa presente en el permeado.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
T3 (A1B2)	6,42	A
T1 (A1B1)	6,16	B
T4 (A2B2)	6,11	B
T2 (A2B1)	5,86	C

Al ejecutar la prueba de Tukey al 5 % se observó la presencia de 3 rangos con comportamientos diferentes, además reveló el tratamiento en donde se recuperó una mayor cantidad de lactosa, siendo el tratamiento T3, que ocupa el rango “a”, con una temperatura del lactosuero de 25 ° C y un caudal de alimentación de 4 l/min, alcanzó un porcentaje de 6,42 %, un valor cercano al obtenido por Muro et al., (2010), donde, alcanzó un porcentaje de recuperación de 7.09 %, con variables similares a las aplicadas en la presente investigación, la variabilidad entre los valores del porcentaje de recuperación se puede deber a la diferencia entre el área activa de la membrana usada en la investigación frente a la utilizada por Muro et al., (2010), siendo, 0.0042 m<sup>2</sup> y 0.0565 m<sup>2</sup> respectivamente.

**Figura 25**

*Resultados de la recuperación de lactosa en el permeado de lactosuero*



El equipo de ultrafiltración tangencial se alimentó con 2 litros de lactosuero microfiltrado y se recupera del proceso 1.35 litros de retenido y 0.29 litros de permeado, consiguiendo un FRV de 1.48, el factor de retención volumétrica permite conocer el rendimiento del proceso, mientras mayor volumen de permeado y menor volumen de retenido se consiga, más alto será el valor del factor de retención volumétrica, el valor de factor de retención volumétrica es menor al valor obtenido por Herrena, (2018) donde, se obtiene un valor de FRV de 3.73, bajo esta comparación se observa que en la investigación no se llega a obtener un buen rendimiento del proceso.

Además, se observó que los tratamientos T1 y T4 ocupan el rango “b”, comportándose estadísticamente iguales con respecto al porcentaje de lactosa presente en el permeado, el factor de retención volumétrica que se llegó a obtener es de 1.39 y 1.22 respectivamente, valores por debajo del tratamiento T3 y finalmente el tratamiento T2, ocupando el rango “c”, mismo que obtuvo el

menor porcentaje de lactosa presente en el permeado con un valor de 5.86 y un FRV 1.17, siendo el valor del factor de retención volumétrica más bajo de la investigación.

### 3.1.3.2 Cuantificación de proteína presente en el permeado

Los resultados obtenidos de los análisis de la proteína residual en el permeado de lactosa, se detalla en la tabla 29.

**Tabla 29**

*Porcentaje de proteína presente en el permeado*

	<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>
1	A1B1	0.39
2	A2B1	0.34
3	A1B2	0.49
4	A2B2	0.40

El análisis de varianza con respecto a la variable de proteína presente en el permeado de lactosuero se presenta en la tabla 30.

**Tabla 30**

*Análisis de varianza para cuantificación de proteína*

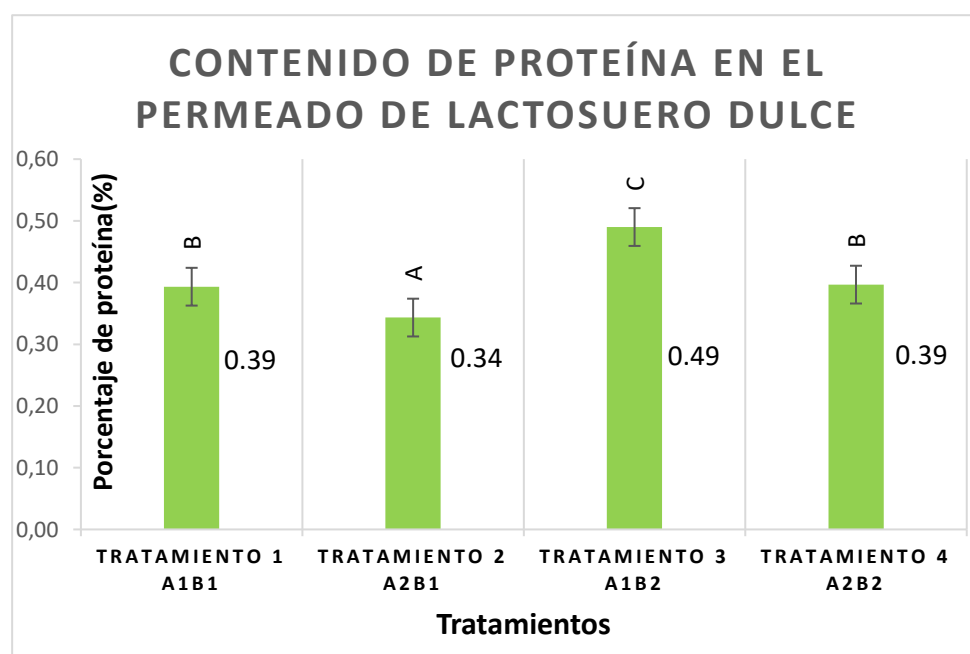
	<b>F.V.</b>	<b>S.C.</b>	<b>G.L.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F.C.</b>	<b>p-VALOR</b>
Tratamientos		0,0337	3	0,0112	224,6111	< 0,0001**
Factor A (temperatura)		0,0154	1	0,0154	308,1667	< 0,0001**
Factor B (caudal)		0,0169	1	0,0169	337,5000	< 0,0001**
I (A*B)		0,0014	1	0,0014	28,1667	0,0007**
Error		0,0004	8	0,00005		
Total		0,0341	11			

**\*\*:** Altamente significativo

Luego de realizar el análisis de varianza se observa significación estadística para el factor A (temperatura de lactosuero), factor B (caudal de alimentación) y la interacción A x B, para determinar el mejor tratamiento se utilizó la prueba de Tukey al 5 %, obteniendo los resultados que se presentan en la siguiente figura.

**Figura 26**

*Resultados de la recuperación de proteína en el permeado de lactosuero*



Se observa la presencia de 3 rangos, el mejor tratamiento corresponde al tratamiento T2, con un porcentaje de 0.34 % de proteína presente en el permeado.

### **3.2 Evaluación De Parámetros De Concentración Del Permeado De Lactosa En El Equipo Armfield Ft22, Evaporador De Película Ascendente Al Vacío.**

Finalizada la primera etapa experimental, se seleccionó al tratamiento con mayor presencia de lactosa, para dar continuidad con la investigación y dar cumplimiento con el segundo objetivo específico planteado.

Durante el proceso de evaporación, se evaluó el porcentaje de lactosa presente en el concentrado, factor indispensable para determinar las cualidades del producto final.

### 3.2.1 *Cuantificación de lactosa presente en el concentrado de lactosuero*

Se evaluó los resultados obtenidos del porcentaje de lactosa en el producto final, usando un análisis estadístico, lo mismo que se detallan en la tabla 31.

**Tabla 31**

*Análisis de varianza para la cuantificación de lactosa presente en el concentrado*

<b>F.V.</b>	<b>S.C.</b>	<b>G.L.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F.C.</b>	<b>p-VALOR</b>
Tratamientos	23,5229	3	7,8410	36,6500	0,0001**
Factor A (presión de vapor)	0,0120	1	0,0120	0,0562	0,8185 <sup>NS</sup>
Factor B (caudal)	20,8033	1	20,8033	97,2383	<0,0001**
I (A*B)	2,7075	1	2,7075	12,6553	0,0074**
Error	1,7115	8	0,2139		
Total	25,2344	11			

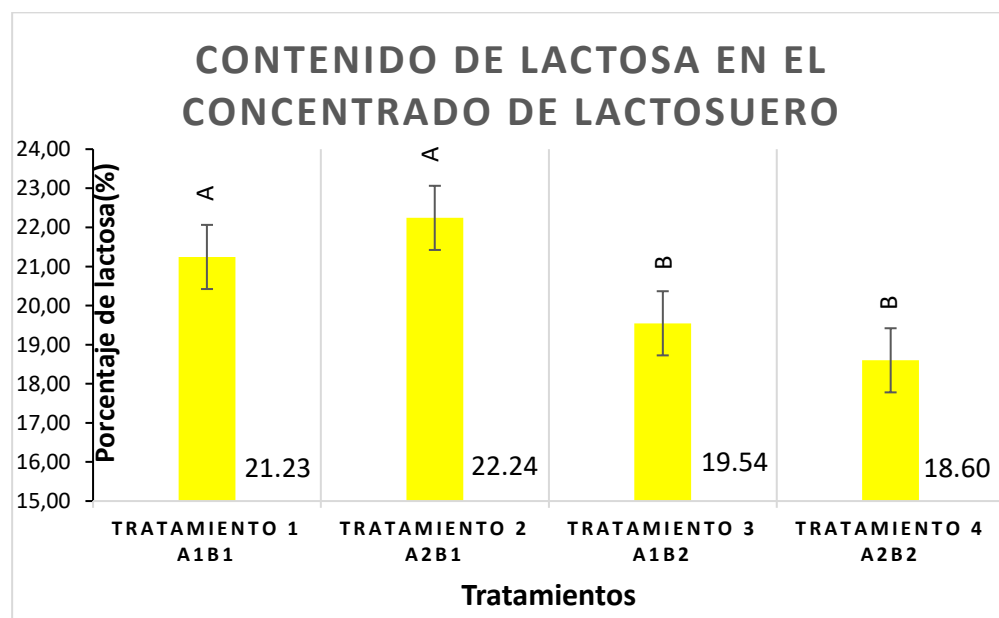
**\*\*:** Altamente significativo, **\***: significativo, **NS:** no significativo

Una vez realizado el análisis de varianza para la variable de respuesta, se detectó que existe significación estadística para el factor B y para la interacción A x B, para determinar el mejor tratamiento se utilizó la prueba de Tukey al 5 %, obteniendo los resultados que se presentan en la figura 27.



**Figura 27**

*Contenido de lactosa en el concentrado de lactosuero*



Se observa en la figura 27 la presencia de 2 rangos, los tratamientos T2 y T1 en el rango “a”, al comportarse estadísticamente iguales con respecto a la cantidad contenida de lactosa en el concentrado y los tratamientos T3 y T4 ocupan el rango “b”, en donde se observó menor cantidad contenida de lactosa presente en el concentrado.

El concentrado de lactosa obtenido en la investigación se considera una materia prima con valor agregado, la misma, dispone de características de fácil manejo. Para definir la concentración se consideró como posible etapa posterior, un secado por aspersión. Los valores obtenidos en la presente investigación cumplen con las condiciones necesarias para dicho proceso, al reportar el mejor tratamiento un contenido de lactosa del 22,24 %.

Castells, et al., (2019) indica, el nivel de sólidos totales en un concentrado líquido obtenido a partir de la preconcentración por membranas, se establece en un rango de 18 a 22 %, y un valor de concentración de sólidos de 30 % al ser obtenido por evaporación, según estos valores, los

resultados obtenidos en la presente investigación se encuentran ligeramente por debajo del dato mencionado para evaporación y sobre el valor expresado para la preconcentración por membranas.

### 3.3 Determinación De Las Características Fisicoquímicas Del Concentrado De Lactosa

Los resultados de la caracterización fisicoquímica realizada al concentrado de lactosa y la comparación con los resultados del lactosuero dulce, se presenta en la tabla 32.

**Tabla 32**

*Caracterización fisicoquímica del concentrado de lactosa y el lactosuero dulce.*

<b>Análisis</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lactosuero dulce</b>	<b>Concentrado de lactosa</b>
Grasa	%	0.30	0.05
Lactosa	%	4.96	22.24
Proteína	%	0.89	0.49
Acidez titulable	° D	9.0	48.0
Densidad relativa	g/ml	1.0326	1.2160
pH	Adimensional	6.68	5.66

En la tabla 32 se observa, el contenido de lactosa en el concentrado es más alto, comparado al contenido de lactosa en el lactosuero, dándose así, el cumplimiento de la investigación al obtener una solución rica en lactosa.

Muro, et al., (2010) consigue en su investigación, una concentración de lactosa del 8.82 % en el mejor tratamiento, mismo que, se considera por debajo del valor conseguido en la presente investigación como se observa en la tabla 33, se llegó alcanzar un porcentaje de 22.24 % de lactosa en el concentrado.

Arias & Espinel, (2006) mencionan, durante el proceso de fraccionamiento por membranas existe varios factores que influyen, siendo uno de ellos el contenido de grasa presente en la solución que se alimenta al equipo, en el concentrado de lactosa se obtiene un valor de 0.05 % de materia grasa, este valor es bajo con respecto al porcentaje de materia grasa presente en el lactosuero dulce.

### 3.4 Estimación De La Vida Útil Del Concentrado De Lactosa

El concentrado de lactosa obtenido en la investigación se considera una materia prima, según sea la necesidad de su posterior uso, será necesario darle un tratamiento adecuado. El concentrado de lactosa se envasó en condiciones higiénicas, en botellas de cristal, selladas con tapas corona y almacenadas en condiciones de refrigeración.

#### 3.4.1 Análisis Microbiológicos Realizados Al Concentrado De Lactosa

En la tabla 33, se detalla los resultados de los análisis microbiológicos aplicados al concentrado de lactosa.

**Tabla 33**

*Resultados microbiológicos de la estabilidad del concentrado de lactosa a 0, 15, 30 y 45 días*

Parámetro analizado	Unidad	0 días	15 días	30 días	45 días	Método de ensayo
Aerobios mesófilos	ufc/g	10	210	770	1610	NTE INEN 1529-5
Mohos y levaduras	ufc/g	0	0	0	0	NTE INEN 1529-10
Escherichia coli	ufc/g	0	0	0	0	NTE INEN 1529-8

En el Ecuador no hay una norma para concentrado de lactosa líquido, por lo cual, se hace una comparación con la norma ecuatoriana NTE INEN 704:2011 “leche condensada”, la cual tiene ligera inclinación al producto obtenido, debiéndose a la etapa similar a la que se sometió durante el proceso, que es la evaporación y al tratarse de un producto concentrado rico en carbohidratos, el

concentrado de lactosa se apega con el índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad al estar dentro de los parámetros, al presentar ausencia de microorganismos “mohos y levaduras”, en los cuatro cortes, además, se realizó el análisis microbiológico para escherichia coli, en donde se obtuvo como resultado la ausencia de este microorganismo al obtener un recuento de cero.

Camacho, (2009) menciona, un recuento inicial de aerobios mesófilos de  $7.2 \times 10^1$  ufc/g, en el concentrado de proteína, un contaje de colonias superior al obtenido en la presente investigación, en donde se obtuvo un resultado inicial de  $1 \times 10^1$  ufc/g.

En la investigación el recuento inicial de aerobios mesófilos en el concentrado de lactosa fue un valor menor al recuento reportado en el lactosuero dulce, demostrando que los tratamientos aplicados para la obtención del concentrado de lactosa a más de fraccionar y concentrar, permitió disminuir la carga microbiana.

Como se observa en la tabla 33, el recuento de microorganismos aerobios mesófilos presenta un incremento en cada corte, el crecimiento microbiano entre el corte de 30 y 45 días está acompañado por un cambio ligero de color, olor, sabor y la presencia de gas, efecto que se presenta también en la investigación de Camacho (2009).

### ***3.4.2 Análisis Físicoquímicos Realizados Al Concentrado De Lactosa***

Los resultados de los análisis físicoquímicos al concentrado de lactosa se presentan en la tabla 34.

**Tabla 34**

*Resultados fisicoquímicos de la estabilidad del concentrado de lactosa a 0, 15, 30 y 45 días*

<b>Parámetro analizado</b>	<b>Unidad</b>	<b>0 días</b>	<b>15 días</b>	<b>30 días</b>	<b>45 días</b>	<b>Método de ensayo</b>
Acidez titulable	°D	48	50	48	58	NTE INEN 13
pH	AD	5.66	5.70	5.78	5.56	Potenciómetro digital

**AD= adimensional**

El desarrollo microbiano en el concentrado de lactosa se presenta con un ligero incremento de la acidez y variabilidad del valor de pH, siendo los valores más notables entre el corte de 30 y 45 días. Camacho, (2009) menciona, debido al crecimiento bacteriano acompañado de un sabor ácido en el concentrado obtenido en su investigación, precisa una durabilidad del producto en 5 días, un valor menor al propuesto en esta investigación, en donde, según lo valores de la tabla 35 se puede considerar un periodo de vida útil de 30 días en condiciones de refrigeración.

## Capítulo 4

### Conclusiones Y Recomendaciones

#### 4.1 Conclusiones

- De acuerdo con los parámetros que se establece en la normativa ecuatoriana y mediante una caracterización de materia prima, se clasificó al lactosuero utilizado en esta investigación como un lactosuero dulce.
- Operando el equipo de ultrafiltración tangencial a menor temperatura y mayor caudal de alimentación, se obtuvo una mejor fragmentación de los componentes del lactosuero lo que permitió recuperar un mayor contenido de lactosa en el permeado.
- En el proceso de evaporación, aplicando una mayor presión de vapor y menor caudal de alimentación al evaporador de película ascendente, se obtuvo una mejor concentración en el permeado de lactosa.
- Se demostró que los procesos de ultrafiltración tangencial y evaporación permitieron obtener una separación y concentración de lactosa, por lo cual es aceptada la hipótesis alternativa.
- Luego de la caracterización y el análisis de estabilidad del concentrado de lactosa, se determinó que es un producto perecedero, al cual se lo debe almacenar en condiciones de refrigeración por un tiempo no mayor a 30 días.

## 4.2 Recomendaciones

- Utilizar una centrífuga específica para el descremado del lactosuero que permita una máxima separación de la grasa láctea presente.
- Experimentar el proceso de ultrafiltración tangencial bajo las mismas condiciones planteadas en la presente investigación, en un módulo tubular y valorar los resultados obtenidos.
- Evaluar la nanofiltración como un método alternativo para la concentración de permeado de lactosa.
- Analizar métodos de conservación al concentrado de lactosa, para ampliar su tiempo de vida útil.

## Bibliografía

- Abate Daga, L. (08 de 04 de 2018). *Utilización del permeado de suero (subproducto lácteo) en la alimentación porcina*. Obtenido de <https://razasporcinas.com/utilizacion-del-permeado-de-suero-subproducto-lacteo-en-la-alimentacion-porcina/#:~:text=El%20Permeado%20de%20Suero%20es,Francia%2C%20B%C3%A9lgica%20y%20Holanda>).
- Alava, C., Gómez, M., & Maya, J. (Diciembre de 2014). *Caracterización fisicoquímica del suero dulce obtenido de la producción de queso casero en el municipio de Pasto*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/320217956\\_Caracterizacion\\_fisicoquimica\\_del-suero\\_dulce\\_obtenido\\_de\\_la\\_produccion\\_de\\_queso\\_casero\\_en\\_el\\_municipio\\_de\\_Pasto](https://www.researchgate.net/publication/320217956_Caracterizacion_fisicoquimica_del_suero_dulce_obtenido_de_la_produccion_de_queso_casero_en_el_municipio_de_Pasto)
- Álvarez Mira, M. C. (08 de 08 de 2013). *Caracterización fisicoquímica de los diferentes tipos de lactosueros producidos en la Cooperativa Colanta LTDA*. Obtenido de [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1036/1/Caracterizacion\\_fisicoquimica\\_diferentes\\_tipos\\_lactosueros\\_producidos\\_Colanta.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1036/1/Caracterizacion_fisicoquimica_diferentes_tipos_lactosueros_producidos_Colanta.pdf)
- Amorós , L., Amaya, E., Errico, M., Lambertucci , M., Miers, J., Mogro, E., . . . Tocho, E. (2013). *Diálisis y ultrafiltración*. Obtenido de <http://ufq.unq.edu.ar/Docencia-Virtual/BQblog/Dialisis%20y%20ultrafiltracion.pdf>
- Araujo, Á., Monsalve, L., & Quintero, A. (Diciembre de 2013). *Aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía nutricional para minimizar el problema de contaminación ambiental* . Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5344986>
- Arias , M., & Espinel, A. (2006). *EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL (MFT) PARA LA FABRICACIÓN DE QUESO Y*



*APROVECHAMIENTO DEL LACTOSUERO* . Obtenido de

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2724/1/CD-0402.pdf>

Armfield. (2015). *FT22 Rising Film Evaporator*. Obtenido de <https://armfield.co.uk/product/ft22-rising-film-evaporator/>

Atra, R., Vatai, G., Bekassy, E., & Balint, A. (2005). *Investigation of ultra and nanofiltration for utilization of whey protein an lactose*.

Baker, R. (10 de 2012). *Membrane Technology and applications*. Obtenido de

<http://aulanni.lecture.ub.ac.id/files/2012/01/MembraneTechnologyApplication1.pdf>

Bowen, R., & Jenner, F. (29 de 03 de 1995). *Theoretical descriptions of membrane filtration of colloids and fine particles*. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/0001-8686\(94\)00232-2](https://doi.org/10.1016/0001-8686(94)00232-2)

Cabrejas A, J. (18 de 09 de 2009). *Evaporación de alimentos*. Recuperado el 26 de 06 de 2019, de <http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/evaporacion.pdf>

Camacho, M. E. (julio de 2009). *Obtención de un concentrado proteico del suero de la leche de vaca utilizando tecnología de membranas*. Obtenido de

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1657/1/CD-2642.pdf>

Camara de Comercio de Guayaquil. (Septiembre de 2019). *Prohibición al suero de leche: desperdicio, informalidad y daño ambiental*. Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.lacamara.org/website/wp-content/uploads/2017/03/IPE-321-Comercio-de-Suero-de-leche.pdf>

Cámara de Comercio de Quito. (30 de 09 de 2019). *Criterios Digital*. Obtenido de

<https://criteriosdigital.com/datos/deptoeconomicoycomercio/suero-de-leche-en-polvo/>

- Casis, N., Fidalgo, M. M., Ravaine, S., & Estenoz, D. A. (03 de 08 de 2010). *Elaboración de membranas poliméricas porosas a partir de cristales coloidales*. Recuperado el 24 de 06 de 2019, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v21n1/art02.pdf>
- Castells, M., González, M., Mattos, C., Juliano, P., Mellinger, C., Sepulveda, J., . . . López, T. (2019 de ENERO de 2019). *VALORIZACIÓN DEL LACTOSUERO*. Obtenido de ALTERNATIVAS DE VALORIZACIÓN DE SUEROS DE QUESERÍA: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/191130/1/Ana-Krolow-lactosuero.pdf
- Chacón, A. (Febrero de 2006). *TECNOLOGÍAS DE MEMBRANAS EN LAAGROINDUSTRIALÁCTEA*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.mag.go.cr/rev\_meso/v17n02\_243.pdf
- Chacón, L., Chávez, A., Rentería, A., & Rodríguez, J. (2017). *PROTEÍNAS DEL LACTOSUERO: USOS, RELACIÓN CON LA SALUD Y BIOACTIVIDADES*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/339/33953499002/html/>
- Condori, E., & Guerrero, A. (2019). *Estimación de la vida útil del manjar de leche a base de lactosuero mediante pruebas aceleradas*. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4853/Condori%20Sedano%20-%20Guerrero%20Lazaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CONICET Santa Fe. (5 de abril de 2014). *Lactosa, una materia prima para obtener productos químicos de alto valor*. Obtenido de <https://santafe.conicet.gov.ar/lactosa-una-materia-prima-para-obtener-productos-quimicos-de-alto-valor/>

Dhineshkumar, V., & Ramasamy, D. (2017). *Review on membrane technology applications in food and dairy processing*. Obtenido de <https://www.mendeley.com/reference-manager/reader/60595daa-95bc-3358-8adb-c6ec6ada6ee8/26a587fd-f2a9-d82f-40c9-08cf37ffb5df>

Espinosa, S. B., Fernández, M., González, M., Cañameras, C., Schmidt, E., Zampatti, M., . . . Cravero, R. (07 de Octubre de 2019). *Recuperación y valorización de lactosuero* . Obtenido de Recuperación y valorización de lactosuero en PYMES de la cuenca láctea argentina, a través de la asociación público-privada.: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/from-crm/sfs\\_valorizacion\\_lactosuero.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/from-crm/sfs_valorizacion_lactosuero.pdf)

Federación nacional de cámaras de comercio del Ecuador. (Septiembre de 2019). *Informe de posición estratégica* . Obtenido de Prohibición al suero de leche: <https://www.lacamara.org/website/wp-content/uploads/2017/03/IPE-321-Comercio-de-Suero-de-leche.pdf>

FEDNA. (17 de 11 de 2011). *Permeato de suero*. Obtenido de [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/permeato-de-suero](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/permeato-de-suero)

Fernández Díaz , J. (2009). *Dialnet*. Obtenido de Aprovechamiento industrial del permeado del suero lácteo: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=208702>

Food Industry. (2022). *Soluciones tecnológicas para la industria alimentaria*. Obtenido de Aprovechamiento del suero: [http://www.perinox.com/productos/suero/1098089-sistemas\\_para\\_aprovechamiento\\_del\\_suero](http://www.perinox.com/productos/suero/1098089-sistemas_para_aprovechamiento_del_suero)

- Gallego, H. (06 de 2011). *Factores que infuyen en la colmatación de membranas de microfiltración tangencial y representación matemática*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/258519858\\_Factores\\_que\\_influyen\\_en\\_la\\_colmatacion\\_de\\_membranas\\_de\\_microfiltracion\\_tangencial\\_y\\_representacion\\_matematica](https://www.researchgate.net/publication/258519858_Factores_que_influyen_en_la_colmatacion_de_membranas_de_microfiltracion_tangencial_y_representacion_matematica)
- Gänzle, M., Haase, G., & Jelen, P. (2008). *Lactose: Crystallization, hydrolysis and valueadded derivatives*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694608000332>
- Gerogette. (20 de 08 de 2009). *Evaporador de pelicula ascendente*. Recuperado el 26 de 06 de 2019, de [file:///C:/Users/Administrador/Downloads/EVAPORADOR\\_DE\\_PELICULA\\_ASCENDENTE.pdf](file:///C:/Users/Administrador/Downloads/EVAPORADOR_DE_PELICULA_ASCENDENTE.pdf)
- Gómez , J., & Sánchez, Ó. (2019). *Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85263723008>
- Hall, & Iglesias. (1997). Functional properties of dried milk whey. *Food Sciencie and Technology International*.
- Herrena, E. (Septiembre de 2018). *Estudio de la aplicación de tecnología de membranas en lactosuero descremado*.
- Juca Cedillo, D. R., & Portilla Pérez, P. A. (2010). *DETERMINACIÓN DE LACTOSA EN LECHE DESLACTOSADA*. Recuperado el 25 de 06 de 2019, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2427/1/tq1068.pdf>

Kreczmann, B., Alba, A., Liloia, M., Zamboni, E., Cerutti, R., Baroni, D., & Poluján, D. (2015).

*Procesamiento del lactosuero: elaboración de lactosa y aprovechamiento de proteínas.*

Obtenido de [http://www.publitec.com.ar/system/noticias.php?id\\_prod=700](http://www.publitec.com.ar/system/noticias.php?id_prod=700)

L, I. (25 de 08 de 2014). *Evaporación*. Recuperado el 26 de 06 de 2019, de

[http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19191/mod\\_resource/content/4/TP.%20evaporaci%C3%B3n2014.pdf](http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19191/mod_resource/content/4/TP.%20evaporaci%C3%B3n2014.pdf)

Lacta, Gloriei, Giurgiu, & Romania. (Marzo de 2012). *Biotechnological Valorisation of Whey.*

Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<http://bioaliment.ugal.ro/revista/10/paper%2010%201.pdf>

López, A. L., & Barriga, D. (2016). *La leche, composición y características*. Recuperado el 25 de 06 de 2019, de

<file:///C:/Users/Administrador/Downloads/La%20leche,%20composicion%20y%20caracteristicas.pdf>

Lynn, C. (2009). *Método para quitar el sabor de proteínas de lactosuero* . Obtenido de

<https://patentados.com/2009/metodo-para-quitar-el-sabor-de-proteinas>

Martínez Balbuena , L., Maldonado Arce, A., & Hernández Zapata, E. (24 de 11 de 2019).

*Elasticidad de las membranas biológicas*. Recuperado el 24 de 06 de 2019, de

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v56n1/v56n1a13.pdf>

Martinez, V. (2022). *Evaluación de parámetros de operación en un reactor de lecho empacado a flujo para la obtención de galactooligosacáridos mediante enzimas inmovilizadas.*

- Montero , M. (Febrero de 2008). *Estudio del proceso para elaboración de jugo clarificado de mora por microfiltración tangencial*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2516/1/28855.pdf
- Moreno Mendoza, L. (12 de 2013). *Procesos de separación II Evaporación*. Obtenido de [https://quimicaitatljmm.files.wordpress.com/2013/11/evaporacion-ago\\_dic-2013.pdf](https://quimicaitatljmm.files.wordpress.com/2013/11/evaporacion-ago_dic-2013.pdf)
- Mosquera M., W. J., & Motta-Correa, Y. O. (05 de 04 de 2015). @Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria. Recuperado el 20 de 05 de 2019, de Aprovechamiento del lactosuero y sus componentes como materia prima en la industria de alimentos: [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/ALIMEN/article/download/1634/839](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/download/1634/839)
- Muller, A., Daufin, G., & Chaufer, B. (26 de 12 de 1998). *Modos de operación de ultrafiltración para la separación de  $\alpha$ -lactoalbúmina del suero de caseína ácida*. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(98\)00218-X](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(98)00218-X)
- Muñi, A., Páez, G., Faría, J., Ferrer, J., & Ramones , E. (Agosto de 2005). *Eficiencia de un sistema de ultrafiltración/nanofiltración tangencial en serie para el fraccionamiento y concentración del lactosuero* . Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/959/95915410.pdf>
- Muro Urista, C., Díaz Nava, C., García Gaitán, B., Zavala Arce, R. E., Ortega Aguilar, R. E., Álvarez Fernández, R., & Riera Rodríguez, F. (25 de 06 de 2010). *Recuperación de los componentes del lactosuero residual de una industria elaboradora de queso utilizando membranas*. Obtenido de <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/269148>

- Ordóñez Pereda, J. A., García, G., & Cambero Rodríguez, I. M. (2010). *Tecnologías alimentarias*. Obtenido de <https://www.sintesis.com/data/indices/9788491712985.pdf>
- Ornelas Osorio, J. E., Flores López, D. E., Bernache Hernández, I. C., & Huerta Rodríguez, C. A. (15 de 04 de 2015). *Evaporador de película ascendente*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/5508995/>
- Ortolá Ortolá, M. D., Fito Suñer , P., & Castro Giráldez , M. (25 de 05 de 2018). *TIPOS DE EVAPORADORES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA*. Recuperado el 26 de 06 de 2019, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102965/Ortol%C3%A1%3BFito%3BCastro%20-%20TIPOS%20DE%20EVAPORADORES%20EN%20LA%20INDUSTRIA%20ALIMENTARIA.pdf?sequence=1>
- Parra Huertas, R. A. (16 de Abril de 2009). *LACTOSUERO: IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a21v62n1.pdf>
- Pinterest. (2011). *Intolerancia a la lactosa*. Obtenido de <http://lavidasinlactosa.blogspot.com/p/intolerancia-la-lactosa-que-es.html?sref=pi>
- Poveda , E. E. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta disponibilidad. *Revista Chilena de Nutrición* 40 (4), 397-403. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46929416011>
- Proláctea S.A. (14 de 06 de 2019). *Suero de leche*. Obtenido de <https://prolactea.es/suero-de-leche/>

Ramírez Navas, J. S. (15 de DICIEMBRE de 2011). *APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DEL LACTOSUERO MEDIANTE PROCESOS FERMENTATIVOS*. Obtenido de

file:///D:/Users/User/Downloads/Administrador,+Aprovechamiento\_Industrial\_de\_Lactosuero.pdf

Ramírez Navaz, J. S., Solís, C. A., & Vélez, C. A. (15 de 06 de 2018). *Tecnologías de membranas: obtención de proteínas de suero*. Recuperado el 24 de 06 de 2019, de

<http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v12n24/1909-8367-ecei-12-24-00052.pdf>

Regenhardt, S., Marchi, A., Garetto, T., & Meyer, C. (05 de Abril de 2014). *Lactosa, una materia prima para obtener productos químicos de alto valor*. Obtenido de

<https://santafe.conicet.gov.ar/lactosa-una-materia-prima-para-obtener-productos-quimicos-de-alto-valor/>

Saavedra, A., & Romero, J. (25 de 11 de 2003). *Aspectos generales sobre procesos y tecnologías de membranas*. Recuperado el 24 de 06 de 2019, de

<http://ambiente.usach.cl/jromero/imagenes/GUIAS%20MEMBRANA/Documento%201%20Antecedentes%20generales%20sobre%20membranas.pdf>

Solis, C. A., Vélez, C. A., & Ramírez Navas, J. S. (31 de 05 de 2017). *Tecnologías de membranas: Ultrafiltración*. Recuperado el 24 de 06 de 2019, de

<http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v11n22/1909-8367-ecei-11-22-00026.pdf>

Sterlitech Corporation. (2018). *CF042SS CELL ASSEMBLY & OPERATION MANUAL*.

Obtenido de [www.sterlitech.com](http://www.sterlitech.com)



Teniza, O. (2008). *Estudio del suero de queso de leche de vaca y propuesta para el reuso del mismo*. Obtenido de <https://docplayer.es/40188009-Tratamiento-de-aguas-mediante-tecnologias-de-membranas-conceptos-basicos.html>

Think USA Dairy . (2017). *Lactosa de grado alimenticio* . Obtenido de <https://www.thinkusadairy.org/es/inicio/productos-lacteos-estadounidenses/lactosa/categorias-de-lactosa/lactosa-de-grado-alimenticio>

U.S. Dairy Export Council. (2016). *Permeato de Suero y Permeato de Leche de Estados Unidos*. Obtenido de [https://www.thinkusadairy.org/Documents/Microsites/Spanish/es\\_2016%20Permeate.pdf](https://www.thinkusadairy.org/Documents/Microsites/Spanish/es_2016%20Permeate.pdf)

U.S. Dairy Export Council. (2017). *Productos lácteos estadounidenses* . Obtenido de Utilización de la lactosa : <https://www.thinkusadairy.org/es/inicio/productos-lacteos-estadounidenses/lactosa/utilizacion-de-lactosa>

UNAD. (18 de 07 de 2012). *Tecnología de lácteos*. Recuperado el 2019 de 07 de 08, de [http://infolactea.com/wp-content/uploads/2016/01/301105\\_LECTURA\\_Revision\\_de\\_Presaberes.pdf](http://infolactea.com/wp-content/uploads/2016/01/301105_LECTURA_Revision_de_Presaberes.pdf)

Vélez Ruiz, J. F. (30 de 10 de 2020). *Leche concentrada, evaporada y/o condensada*. Obtenido de <https://libros.usc.edu.co/index.php/usc/catalog/download/74/79/1256?inline=1>

Vitusa Global. (2022). *Lactosa*. Obtenido de <https://www.vitusa.com/es/productos/lactosa>

## Anexos

### 6.1 Anexo1: Especificación De La Membrana De Ultrafiltración



Membranas que funcionan. Gente que entrega.™

## Membrana de hoja plana Especificaciones

Synder Filtration ofrece su línea completa de membranas en una variedad de opciones de lámina plana y rollo de membrana. Synder puede suministrar membranas para todas las escalas de prueba, investigación y producción con plazos de entrega excepcionalmente rápidos.

Escribe

	FRONTE	MT PHT
Límite de peso molecular nominal	100KDa	
Material de la membrana	Polietersulfona (PES)	
Material de respaldo	Poliéster	polipropileno
Espesor total (Respaldo y membrana)	.008 pulgadas (0,20 milímetros)	
Rango de pH durante el funcionamiento	1.0-10.0	1.0-13.0
Rango de pH durante CIP	1.0-11.0	
Temperatura máxima de funcionamiento	194°F/90°C	
Permeabilidad típica en agua DI @ 77°F/25°C y 50 psi/3,4 atm	120-147 gal/pie-día (203-249 l/m <sup>2</sup> -hora)	
Aprobación FDA y USDA	Sí	
Conservante - envasado húmedo	0,2% Metabisulfito de sodio	
Conservante - envasado seco	Glicerina	
Aplicación común	Proteína de suero (WPC/WPI), concentración de enzima	

#### Nº TÉCNICO METROmidsel Información

Todas las membranas están disponibles en secciones cortadas de fábrica de 1 pie x 1 pie y 1 m x 1 m, y en rollos por pie o rollos por metro. El ancho estándar del rollo es de 40"/1016 mm. Se pueden ofrecer anchos de rollo no estándar a pedido. Las membranas se pueden comprar húmedas o secas.

Synder Filtration Inc.  
4941 Allison Parkway  
Vacaville, CA 95688

Teléfono: +1 (707) 451-6060  
Fax: (707) 451-6064  
Correo electrónico: sales@synderfiltration.com  
Sitio web: www.synderfiltration.com

