

**EVALUACION TÉCNICA Y FINANCIERA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE  
SUERO EN POLVO PARTIENDO LACTOSUERO GENERADO EN EL  
PROCESO FABRICACIÓN DE QUESOS DE LECHE DE BÚFALA**

**CAMILO ANDRES ORTIZ SANCHEZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C  
2019**

**EVALUACION TÉCNICA Y FINANCIERA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE  
SUERO EN POLVO PARTIENDO LACTOSUERO GENERADO EN EL  
PROCESO FABRICACIÓN DE QUESOS DE LECHE DE BÚFALA**

**CAMILO ANDRES ORTIZ SANCHEZ**

**Proyecto integral de grado para optar el título de:  
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C  
2019**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Ing Juan Camilo Cely Garzón

---

Ing Javier Francisco Rey Rodríguez

Bogotá D.C. Agosto 2019

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente Institucional y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCIA- PEÑA**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos humanos

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académico y de Posgrados

**Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Decano general Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director programa de Ingeniería Química

**Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ**

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

## **DEDICATORIA**

Dedico mi tesis primero a Dios por ser mi guía en este camino por no abandonarme en los momentos difíciles, por ser mi guía durante toda mi carrera y permitirme culminar mis estudios. A mis padres, por su apoyo económico, a mis amigos y compañeros que estuvieron junto a mí durante todo mi proceso académico.

Camilo Andres Ortiz Sánchez

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la empresa Dibufala por la materia prima empleada en este proyecto por su compromiso, dedicación, colaboración. A la Universidad Nacional en su sede ICTA por la prestación en sus servicios en cuanto a la orientación y colaboración brindada. A la Fundación Universidad de América por brindarnos los conocimientos y las bases que permitieron ejercer el proyecto, también por prestar y por hacer uso de sus instalaciones a lo largo del proyecto.

## CONTENIDO

|   | pág.      |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>   | <b>23</b> |
| <b>OBJETIVOS</b>  | <b>25</b> |
| <b>1. GENERALIDADES, CARACTERISTICAS Y TECNOLOGIAS</b>        | <b>26</b> |
| <b>1.1 OBJETIVO</b>   | <b>26</b> |
| <b>1.2 ALCANCE</b>  | <b>26</b> |
| <b>1.3 VENTAJA COMPARATIVA</b>                                | <b>26</b> |
| <b>1.4 CARACTERISTICAS DEL PROCESO</b>                        | <b>27</b> |
| 1.4.1 Generalidades   | 27        |
| 1.4.1.1 Origen y generación del lactosuero                    | 27        |
| 1.4.1.2 Problemáticas del residuo de lactosuero               | 27        |
| 1.4.1.3 Tazas de producción                                   | 28        |
| 1.4.1.4 Importaciones de queso y lactosuero                   | 31        |
| 1.4.1.5 Aprovechamiento del lactosuero                        | 31        |
| <b>1.5 CARACTERISTICAS DEL LACTOSUERO</b>                     | <b>31</b> |
| 1.5.1 Composición del lactosuero                              | 31        |
| 1.5.2 Tipos de lactosuero                                     | 32        |
| 1.5.3 Proteínas del lactosuero                                | 32        |
| <b>1.6 TIPOS DE PROTEINAS</b>                                 | <b>33</b> |
| <b>1.7 TECNOLOGIAS DEL PROCESAMIENTO DEL LACOTSUERO</b>       | <b>34</b> |
| 1.7.1 Evaporación al vacío                                    | 35        |
| 1.7.2 Secado en lecho fluidizado                              | 36        |
| 1.7.3 Ciclón  | 37        |
| 1.7.4 Osmosis inversa   | 37        |
| 1.7.5 Filtración  | 38        |
| 1.7.6 Atomización   | 39        |
| 1.7.7 Enfriamiento  | 40        |
| 1.7.8 Tamizado  | 40        |
| <b>1.8 DIAGRAMA DE PROCESAMIENTO DE LACTOSUERO Y PROTEINA</b> | <b>40</b> |
| <b>2. EXTRACCION EXPERIMENTAL EXTRACCION DE PROTEINA</b>      |           |
| <b>2.1 OBJETIVO</b>   | <b>43</b> |
| <b>2.2 SELECCIÓN DEL METODO DE APROVECHAMIENTO</b>            | <b>43</b> |
| <b>2.3 METODOLOGIA DE EXTRACCION PROTEINA EN POLVO</b>        | <b>44</b> |
| 2.3.1 Diagrama del proceso de extracción a nivel laboratorio  | 45        |
| 2.3.2 Evaporación   | 46        |
| 2.3.3 Centrifugación  | 47        |
| 2.3.4 Filtración  | 47        |
| 2.3.5 Secado por aspersion                                    | 48        |
| <b>2.4 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS</b>                | <b>50</b> |



|   |           |
|---|-----------|
| <b>3. DIMENSIONAMIENTO PLANTA-PILOTO</b>                                    | <b>53</b> |
| <b>3.1 FACTORES INICIALES</b>   | <b>53</b> |
| <b>3.2 METODOS DE TRABAJO</b>   | <b>53</b> |
| <b>3.3 DEMANDA DE QUESOS, PRODUCCION Y LECHE</b>                            | <b>54</b> |
| <b>3.4 DIMENSIONAMIENTO</b>   | <b>56</b> |
| 3.4.1 Capacidad de producción   | 56        |
| 3.4.2 Estrategia de control sobre los procesos                              | 57        |
| <b>3.5 BALANCE DE MASA Y ENERGIA DE PLANTA-PILOTO</b>                       | <b>58</b> |
| 3.5.1 Diagrama del proceso planta-piloto                                    | 58        |
| 3.5.2 Equipo de refrigeración   | 59        |
| 3.5.3 Tanques de enfriamiento   | 60        |
| 3.5.4 Evaporador al vacío doble efecto                                      | 61        |
| 3.5.5 Ciclón  | 64        |
| 3.5.6 Lecho fluidizado  | 65        |
| 3.5.7 Filtración  | 66        |
| 3.5.8 Especificación de diseño del área de filtrado                         | 67        |
| 3.5.9 Atomización   | 67        |
| <b>3.6 PROPIEDADES TECNICAS DE LA PLANTA</b>                                | <b>68</b> |
| 3.6.1 Selección de tipo de evaporador al vacío                              | 69        |
| 3.6.2 Justificación sobre selección de tecnología evaporador al vacío       | 69        |
| 3.6.3 Selección de tipos de membrana para proceso de filtración             | 70        |
| 3.6.4 Justificación en la elección de tecnología en membranas de filtración | 70        |
| 3.6.5 Especificaciones del intercambiador de calor y elección               | 72        |
| 3.6.6 Características de las bombas y su elección.                          | 73        |
| 3.6.7 Especificaciones y diseño de los materiales.                          | 73        |
| <b>4. ANALISIS FINANCIERO</b>   | <b>75</b> |
| <b>4.1 TABLA DE DISEÑO</b>  | <b>75</b> |
| <b>4.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO</b>   | <b>75</b> |
| <b>4.3 INGRESOS</b>   | <b>76</b> |
| <b>4.4 PROYECCION</b>   | <b>77</b> |
| <b>4.5 COSTOS</b>   | <b>77</b> |
| <b>4.6 GASTOS</b>   | <b>78</b> |
| <b>4.7 DEPRECIACION</b>   | <b>78</b> |
| <b>4.8 COSTOS E IMPUESTOS</b>   | <b>78</b> |
| <b>4.9 COSTOS DE PRODUCCION</b>   | <b>78</b> |
| 4.9.1 Procesos unitarios  | 79        |
| 4.9.2 Costos energéticos  | 79        |
| <b>5. CONCLUSIONES</b>  | <b>83</b> |
| <b>6. RECOMENDACIONES</b>   | <b>85</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>   | <b>86</b> |
| <b>ANEXOS</b>   | <b>88</b> |

## LISTA DE TABLAS

|  | pág. |
|--|------|
| <b>Tabla 1.</b> Clasificación de lactosuero ácido y dulce                | 31   |
| <b>Tabla 2.</b> Clasificación de tipos de lactosuero                     | 32   |
| <b>Tabla 3.</b> Peso de sobrenadantes en tubos arbitrarios de centrifuga | 50   |
| <b>Tabla 4.</b> Comparación de humedad final                             | 51   |
| <b>Tabla 5.</b> Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304 SAE.      | 76   |
| <b>Tabla 6.</b> Tabla de diseño  | 78   |
| <b>Tabla 7.</b> Valor en los equipos industriales                        | 79   |
| <b>Tabla 8.</b> Tipos de costos a nivel industrial                       | 81   |
| <b>Tabla 9.</b> Costos energéticos                                       | 83   |

## LISTA DE CUADROS

|   | pág. |
|---|------|
| <b>Cuadro 1.</b> Principales proteínas en el lactosuero de búfala                 | 32   |
| <b>Cuadro 2.</b> Especificaciones técnicas etapa evaporización                    | 35   |
| <b>Cuadro 3.</b> Especificaciones técnicas de secado lecho fluidizado             | 36   |
| <b>Cuadro 4.</b> Especificaciones técnicas del proceso de centrifugación          | 37   |
| <b>Cuadro 5.</b> Tipos de filtrado básicos y condiciones a nivel laboratorio      | 38   |
| <b>Cuadro 6.</b> Condiciones de operación de secado por atomización               | 39   |
| <b>Cuadro 7.</b> Matriz de selección extracción a nivel laboratorio               | 43   |
| <b>Cuadro 8.</b> Estrategias sobre control del proceso                            | 58   |
| <b>Cuadro 9.</b> Matriz de selección de evaporadores al vacío                     | 71   |
| <b>Cuadro 10.</b> Características se selección de membranas de filtración         | 72   |
| <b>Cuadro 11.</b> Configuración de las membranas                                  | 72   |
| <b>Cuadro 12.</b> Tipos de intercambiadores de calor y elección                   | 74   |
| <b>Cuadro 13.</b> Matriz de selección tipos de bombas en la industria alimenticia | 75   |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  | pág. |
|--|------|
| <b>Gráfico 1.</b> Inventario y distribución de búfalos en Colombia.                  | 28   |
| <b>Gráfico 2.</b> Composición de importaciones de lácteos en toneladas.              | 30   |
| <b>Gráfico 3.</b> Producción de leche de búfala y lactosuero en la región de Córdoba | 56   |

## LISTA DE FIGURAS

|   | pág. |
|---|------|
| <b>Figura 1.</b> Esquema de producción de leche en Colombia.        | 29   |
| <b>Figura 2.</b> Proceso de extracción de la proteína en polvo.     | 40   |
| <b>Figura 3.</b> Diagrama de pasos a nivel metodológico.            | 43   |
| <b>Figura 4.</b> Curvas de costos para las operaciones de procesos. | 55   |

## LISTA DE IMÁGENES

|   | pág. |
|---|------|
| <b>Imagen 1.</b> Evaporación al vacío                                   | 35   |
| <b>Imagen 2.</b> Secador de lecho fluidizado                            | 36   |
| <b>Imagen 3.</b> Secado por atomización                                 | 39   |
| <b>Imagen 4.</b> Lactosuero de búfala.                                  | 44   |
| <b>Imagen 5.</b> Controladores del roto evaporador.                     | 46   |
| <b>Imagen 6.</b> Rotoevaporacion.                                       | 46   |
| <b>Imagen 7.</b> Centrifugación   | 47   |
| <b>Imagen 8.</b> Filtración atmosférica                                 | 48   |
| <b>Imagen 9.</b> Filtración al vacío                                    | 48   |
| <b>Imagen 10.</b> Secado del lactosuero por medio de aspersion atómica. | 49   |
| <b>Imagen 11.</b> Obtención de concentrado de proteína en polvo.        | 50   |

## LISTA DE ECUACIONES

|  | pág. |
|--|------|
| <b>Ecuación 1.</b> Porcentaje de humedad durante extracción de proteína. | 52   |
| <b>Ecuación 2.</b> Porcentaje de error humedad.                          | 53   |
| <b>Ecuación 3.</b> Capacidad de producción                               | 55   |
| <b>Ecuación 4.</b> Calor cedido por el lactosuero.                       | 61   |
| <b>Ecuación 5.</b> Flujo de agua requerido para el enfriamiento          | 61   |
| <b>Ecuación 6.</b> Calor absorbido por el lactosuero refrigerado.        | 62   |
| <b>Ecuación 7.</b> Flujo de agua necesario                               | 62   |
| <b>Ecuación 8.</b> Cantidad de lactosuero almacenado por día             | 62   |
| <b>Ecuación 9.</b> Vapor de caldera necesario en el primer efecto        | 65   |
| <b>Ecuación 10.</b> Vapor de caldera necesario en el segundo efecto      | 65   |
| <b>Ecuación 11.</b> Coeficiente de rechazo                               | 68   |
| <b>Ecuación 12.</b> Flux sobre área de filtrado                          | 69   |

## LISTA DE ANEXOS

|   | pág. |
|---|------|
| <b>Anexo A.</b> Materiales e instrumentos usados para la extracción de proteína | 92   |
| <b>Anexo B.</b> Leche de búfala de acuerdo con su raza.                         | 93   |
| <b>Anexo C.</b> Condiciones de monitoreo en el proceso de evaporación.          | 94   |
| <b>Anexo D.</b> Cantidad de búfalos a nivel mundial.                            | 95   |
| <b>Anexo E.</b> Procesos y características de cada etapa en el proceso          | 96   |
| <b>Anexo F.</b> Imágenes de los equipos de las diferentes operaciones           | 97   |



## NOMENCLATURA

|               |   |
|---------------|---|
| <b>A_mem.</b> | Área de la membrana                             |
| <b>Aw.</b>    | Actividad de agua                               |
| <b>Cdp</b>    | Capacidad de producción en condiciones normales |
| <b>C/N.</b>   | Relación carbono – nitrógeno.                   |
| <b>Ca.</b>    | Concentración en la corriente de alimento       |
| <b>Cp.</b>    | Concentración del soluto                        |
| <b>Dsi.</b>   | Inyección de sistema directo                    |
| <b>DQO.</b>   | Demanda química de oxígeno.                     |
| <b>Hr.</b>    | Horas por turno                                 |
| <b>Hrb.</b>   | Propiedad de pureza del acero                   |
| <b>IATA.</b>  | Instituto tecnológico de alimentos              |
| <b>ISA.</b>   | Sociedad de instrumentos de América             |
| <b>Ksi.</b>   | Límite de la fluencia del acero.                |
| <b>R.</b>     | Coefficiente de rechazo                         |
| <b>SV</b>     | Sólidos volátiles                               |
| <b>Te</b>     | Tasa de eficiencia                              |
| <b>TIR.</b>   | Tasa inversión de retorno.                      |
| <b>Tpt.</b>   | Producción teórica por hora                     |
| <b>Tr</b>     | Tasa de rendimiento                             |
| <b>VPN.</b>   | Valor promedio neto.                            |
| <b>W.</b>     | Humedad del producto final                      |

## GLOSARIO

**ANABOLIZACION:** proceso metabólico encargado de los procesos de recuperación de fibras musculares rotas durante la actividad física.

**ATOMIZADOR:** es un utensilio que se emplea para producir una fina pulverización de un líquido, mediante una bomba manual (de pera de goma o de émbolo), basándose en la aspiración debida al efecto Venturi.

**CATABOLISMO:** proceso metabólico el cual consiste en la liberación de energía por ser degradadas moléculas grandes a moléculas pequeñas, disminuyendo así la masa muscular en periodos de hambre.

**DQO:** análisis químico que se le realiza al agua para medir la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica presente en el agua. Sigla de demanda química de oxígeno.

**FILTRACION:** proceso unitario de separación de solidos de una suspensión a través de un medio mecánico o poroso llamado, criba o filtro.

**LACTOSUERO:** subproducto industrial resultante de la elaboración de quesos obtenido durante la coagulación de la leche, contiene 94% de agua, proteína y grasas.

**MICROFILTRACION:** sistema de filtrado a nivel industrial el cual consiste en la filtración a nivel micromolécula donde por medio de este proceso se obtiene proteínas aisladas cerca al 90% de proteína concentrada.

**MONITOREO:** llevar el seguimiento y el control de las condiciones bajo las cuales se está realizando el proceso.

**PROTEINA CONCENTRADA:** proteína concentrada la cual contiene cerca del 80% de proteína final teniendo grandes porcentajes restantes de grasas, caseinatos y lactosa.

**REACCION DE MYLLARD:** reacción la cual se produce después de una temperatura determinada, dependiente del alimento a calentar. Es una reacción química que se produce entre las proteínas y los azucares reductores, permitiendo la desnaturalización de las proteínas.

**SISTEMA DE DIGESTIÓN ANAEROBIA:** puede definirse como un contenedor completamente cerrado en el que se realiza la descomposición de biomasa, por medio de microorganismos anaerobios, para la obtención de biogás.

**SÓLIDOS TOTALES:** contenido de materia solida disuelta y suspendida presente en la mezcla de sustrato.

**TIEMPO DE RETENCIÓN:** periodo en el cual se llevará a cabo el proceso, es decir, el tiempo necesario para la digestión del sustrato alimentado en el sistema.

## RESUMEN

El presente proyecto pretende contribuir a la recuperación y aprovechamiento de un residuo industrial como es el lactosuero a través de la elaboración de la proteína en polvo a partir de lactosuero de búfala.

El lactosuero es un subproducto de la elaboración de quesos, y es un residuo con alta carga de nitrógeno, el cual, al tener una alta carga de este compuesto, puede aumentar el DQO en las fuentes hídricas y en los campos de agricultura generando un daño de flora y fauna en el ecosistema.

Es por ello que se toma una decisión; la cual, por medio de la transformación bioquímica del lactosuero residual a través de varios procesos de extracción a nivel de laboratorio, se va a obtener proteína en polvo concentrada. Permitiendo también generar una idea para la construcción de una empresa siendo este producto muy utilizado para las industrias de alimentos, industrias farmacéuticas y alimento suplementario para deportistas de alto rendimiento. Contribuyendo a la investigación en el área bioquímico y de alimentos dentro de la institución Fundación Universidad de América.

Para desarrollar el proyecto como primera fase se planteó una serie de generalizaciones de la situación actual de las exportación, importaciones, mercados, macro localización y micro localizaciones, así como las relaciones de consumo de lácteos en Colombia. También se plantearon las condiciones de operación a nivel laboratorio de todo el proceso de extracción donde se tuvo en cuenta tecnologías de procesamiento, como evaporación al vacío donde se trabajan a presión de 0.098 atm, procesos de centrifugación para eliminar 80-90% de lactosa y grasas, proceso de osmosis inversa donde se retira cerca al 40% de agua, procesos de filtración donde se tienen condiciones de vacío y se crea un factor importante para la calidad de la proteína, aquí la concentración de proteína se alcanza un 85%, una fase de atomización donde se realiza por medio de un aspersor con una corriente a 150 grados Celsius y un posterior enfriamiento a 4 grados Celsius. También se caracterizó el lactosuero de Búfala (*Bovalus Bubalis*): estiércol de bovino y residuo de poda, teniendo en cuenta el porcentaje de proteínas, lactosas grasas, la composición bioquímica y fisicoquímicas.

En la segunda parte del proyecto se llevó a cabo el proceso de extracción de la proteína en polvo, primero se realizó una caracterización de la materia prima obtenida de la empresa Dibufala en la sabana de Bogotá km 18 vía Medellín. esta se llevó a un proceso de roto evaporación a condiciones de vacío separando el agua del lactosuero. Luego se realizó una centrifugación la cual se realizaron a condiciones estándar a 4500 rpm durante 6 minutos por medio de 8 tubos cada uno de 15ml para centrifugar un total de 1500ml el cual tomo cerca de 3 horas. También se realizó un proceso de secado por osmosis inversa, y dos procesos de filtración, una a nivel atmosférica y una a vacío para mejorar la calidad de proteína en polvo; por último, a la atomización y enfriamiento del producto final por medio de un aspersor a una corriente de 150°C. Por otro lado, se realizó el contenido de humedad del producto final considerando que según los estándares de calidad se debería tener una humedad cerca al 4-5% obteniendo una humedad del 9,3%. De los cuales se procesaron cerca de 1.5L de lactosuero teniendo una masa solida de 227,5 g. El cual sirve como punto de base para el dimensionamiento y el estudio financiero. Se estableció que el proceso de extracción de proteína se llevaría a cabo dentro de un rango de 13°C a 22°C exceptuando el proceso de atomización y enfriamiento que se realizó a 200°C y 4°C respectivamente.

En la tercera parte del proyecto se realizó según los resultados de laboratorio y las condiciones de operación de la primera fase una escalamiento planta-piloto donde se tuvo en cuenta procesos como evaporación donde se realizó una comparación de los evaporadores al vacío presentes en la industria de alimentos donde se tomó como mejor opción y según las características fisicoquímicas del lactosuero un evaporador al vacío con película descendente, así mismo se eligieron los tipos de intercambiadores de calor donde se optó por intercambiadores de placas. Donde se demostró que su coeficiente global de calor era mayor a los demás y su montaje y costo de mantenimiento era reducido frente a los intercambiadores de tubo cortos y largos de coraza y más económico.

También se optaron por materiales acero inoxidable SAE 302 y bombas sanitarias las cual protegen la higiene del producto a tratar. Se evaluó también los tipos de membranas para los procesos de filtración donde se optó por membranas poliméricas sulfonadas debido a la cantidad de solidos totales del producto del lactosuero concentrado.

Como cuarta y última fase se realizó un estudio financiero teniendo en cuenta las tazas de producción de cada equipo escogido relacionándolo junto al dimensionamiento. Aquí se analizaron costos de producción, ingresos, gastos como variables, fijo y administrativos, se tomó en cuenta los costos energéticos y de logística.

También se realizó una base de ingresos de acuerdo a la situación actualmente que se vive según la distribución de mercados en Colombia.

Teniendo en cuenta todo esto se realizó un flujo de caja teniendo en cuenta impuestos y costos de infraestructura obteniendo una TIR del 41%, y una relación costo beneficio mayor a 1.

**Palabras clave:** Proteína concentrada, Extracción, Temperatura, Lactosuero, Costos.

## INTRODUCCION

En los últimos años la creciente demanda de producción de búfalos a estado aumentado en Colombia hasta llegar a 300 mil cabezas de búfalos, lo que significa que Colombia es en la actualidad, uno de los mayores productores de la raza en Latinoamérica, por delante de Argentina y Venezuela. Aunque el país cuente con una positiva producción de la raza en cuanto a leche y carne, hace falta un largo trabajo en la comercialización de sus productos.

En la actualidad en Colombia, la industria láctea es uno de los sectores más importantes de la economía de países industrializados y en desarrollo. Aproximadamente 90% del total de la leche utilizada en la industria quesera es tratada como lactosuero el cual retiene cerca de 55% del total de ingredientes de la leche como la lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales.<sup>2</sup>

El lactosuero es el segundo producto con mayores volúmenes de importación, en el mismo año la cifra alcanzó las 12.441 toneladas con una participación del 21%. Hasta marzo de 2017 las importaciones de estos dos productos fueron de 16.258 y 2.230 toneladas, representando el 96% del total importado en lo corrido del año.<sup>2</sup>

El problema se basa en que el lactosuero está contaminando fuentes hídricas ya que lo vierten las grandes industrias y lagos, mares y quebradas, así como campos de agricultura, debido al alto costo de los equipos y tecnologías para su tratamiento y procesamiento.

Para ello se realizó un estudio analizando las últimas tecnologías en cuanto al procesamiento del lactosuero. Para luego de ello tener las condiciones de operación apropiadas y realizarlo a nivel escala laboratorio. Para llevarlo así posteriormente a un planteamiento planta-piloto llevándolo a niveles industriales realizando balances de masa y energía, según la capacidad y necesidad de cada equipo y el dimensionamiento de cada uno de ellos.

Se tuvo en cuenta principalmente los costos y un análisis financiero en general de como seri la mejor alternativa en cuanto al procesamiento de lactosuero, siempre tratando de optimizar los recursos energéticos y elaborando estrategias ecológicas de cómo se podrían ahorrar costos reutilizando corrientes secundarias del proceso.

---

1.Contexto ganadero. 5 ventajas de criar búfalos en Colombia. [0]. sep 19,.  
Disponible en: <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/5-ventajas-de-criar-bufalos-en-colombia>.

2.observador juvenil. Lactosuero el contaminante que puede nutrir al mundo.  
Disponible en: <https://observadorjuvenil.wordpress.com/2009/11/28/lactosuero-el-contaminante-que-puede-nutrir-el-mundo/>

Respondiendo a la pregunta de investigación de como interviene el cambio de modelamiento en un proceso de extracción de suero de leche en cuanto a los parámetros de factibilidad de un nuevo producto.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar técnica y financieramente la producción de suero en polvo partiendo lactosuero generado en el proceso fabricación de quesos de leche de búfala.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer las condiciones de operación de cada proceso unitario en cuanto al proceso de extracción de proteína en polvo.
- Obtener la extracción de proteína de suero en polvo a escala laboratorio con los parámetros establecidos.
- Realizar las especificaciones técnicas del proceso a escala planta-piloto del proceso de producción de proteína en polvo a partir de lactosuero de búfalo.
- Realizar el análisis financiero en base a los datos y experimentos obtenidos.

## **1. GENERALIDADES, CARACTERISTICAS Y TECNOLOGIAS DE EXTRACCION DEL LACOTSUERO**

### **1.1 OBJETIVO**

Se realizara un proceso por el cual se busca obtener un producto deseado a partir de diferentes procesos y operaciones unitarias; se usan métodos como destilación, evaporización, filtraciones, con el fin de reconocer las condiciones físicas y químicas, en las cuales se desarrolla el proceso buscando siempre una justificación en cuanto el porqué de cada condición y elección en el proceso de elaboración y extracción de la proteína en polvo de búfala, teniendo en cuenta gastos energéticos sobre las condiciones de mantenimiento preventivo y facilidad de instalación para el proceso en específico; Permitiendo así seleccionar diferentes tipos de parámetros para mejorar la eficiencia del producto a obtener el cual es la proteína concentrada en polvo. Respondiendo así a la pregunta de investigación formulada a lo largo de la investigación.

### **1.2 AICANCE**

El proyecto se basará en el proceso de extracción a nivel industrial de la proteína de suero y se tendrá información de las condiciones y los procesos industriales, sin tomar en cuenta la información nutricional y la composición de esta. Se llegará a establecer un mercado específico para tener en cuenta los niveles de producción; analizando así la demanda y oferta del mercado para aprovechar al máximo la producción en planta.

### **1.3 VENTAJA COMPARATIVA**

Al procesar un nuevo producto como lo es la proteína en polvo de lactosuero del búfalo, esta permite una mayor cantidad de proteína que la proteína de suero de leche de vaca la cual actualmente es la que predomina en el mercado. Al tener la leche de búfala mayor cantidad de proteínas, grasas, y solidos disueltos permite que el proceso de operación en cuanto al requerimiento energético sea menor, permitiendo reducir costos en cuanto al proceso industrial de la extracción de proteína.

Al tener una mayor cantidad de proteína el producto en polvo permite que los niveles cuantificados independiente de cada deportista a nivel nutricional sean mayores ayudando así que los procesos anabólicos sean más eficientes permitiendo construir una mayor masa muscular.

## 1.4 CARACTERISTICAS DEL PROCESO

En cuanto al análisis del proceso de producción se incluirá un diagrama del proceso de producción de la proteína en polvo.

Hay que tener variables de control como lo son la temperatura, humedad, presión. La cual permite que la calidad del producto sea optima, evitando que la proteína sufra un proceso de desnaturalización, y evitando que microorganismos estén presentes durante el tratamiento de los alimentos.

En cuanto a proceso de escala-piloto de la planta se tendrá en cuenta el porqué de cada elección del equipo y el dimensionamiento estructurado de la planta permitiendo así tener una base de producción estando relacionado con la capacidad de producción de cada equipo y permitiendo así controlar las perdidas por fricción entre tuberías, y evitando choques bruscos de temperatura.

Con este proceso en general se llevará a cabo que modelamiento es pertinente en cuando a la eficiencia de un nuevo producto. Respondiendo a la pregunta ¿Como interviene el cambio de modelamiento en un proceso de extracción de suero de leche en los parámetros de factibilidad de un nuevo producto?

### 1.4.1 Generalidades.

**1.4.1.1 Origen y generación del lactosuero.** El lactosuero es un subproducto industrial generado por la elaboración del queso. después de la separación del coágulo o fase micelar. Sus características corresponden a un líquido de color amarillo verdoso, turbio, de sabor fresco, débilmente dulce, de carácter ácido que c agua, proteínas y grasas<sup>3</sup>.

Considerado por largo tiempo como un desecho difícil de tratar y eliminar debido a las grandes cantidades producidas en la industria del queso. Es actualmente, una de las materias primas más usadas en el ámbito alimentario. Nuevas tecnologías permiten recuperar los principales nutrientes y elaborar a base de ellos nuevos productos como los concentrados de proteínas de suero, emulsificantes, estabilizantes y otros aditivos que confieren propiedades reológicas y sensoriales a los productos de la industria alimentaria<sup>3</sup>

---

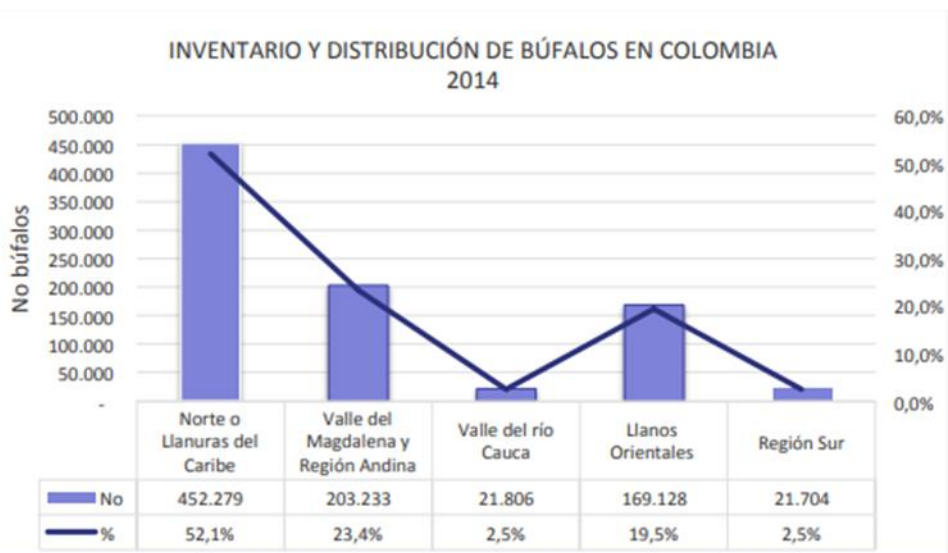
3. Modler. The use of whey as animal feed and fertilizer. Bulletin of the international Dairy Federation. vol. 212, p. 114-124.

**1.4.1.2 Problemáticas del residuo de lactosuero.** Durante la elaboración del queso se genera lactosuero, un residuo muy contaminante de gran carga orgánica. Hay dos alternativas para su gestión: someterlo a transformaciones biológicas encaminadas a su descontaminación o usarlo como base para la producción de compuestos de interés. El grupo de investigadores del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) se ha inclinado por esta última opción<sup>3</sup>.

Según Agrocadenas, uno de los observatorios del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia la Federación Ganaderos (Fedegan), la producción de leche en Colombia, para el año 2006 fue de 6024 millones de litros (su participación fue de un 10% del PIB, dentro del sector de alimentos), de los cuales, aproximadamente un 18% (1084 millones de litros) se destinó a la producción de quesos y un 9% (542 millones de litros) a leches fermentadas, lo que quiere decir que la producción nacional de lactosuero<sup>4</sup>.

### 1.4.1.3 Tazas de producción.

**Gráfico 1.** Inventario y distribución de búfalos en Colombia



**Fuente.** LACTOCARNICOS. Inventario de búfalos en Colombia (2014)

Según el gráfico anterior la región con mayor cantidad de números de búfalos en Colombia es la región del Córdoba con cerca al 55% sobre el total de otras regiones,

4. Eroski. Lactosuero, de residuo a aditivo alimentario. [0]. "Oct 15;". [Consultado el " Abr 1;"2019]. Disponible en: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/10/15/188582.php>.

la segunda región es la del valle del Magdalena y región andina cerca de 24% de búfalos y como tercera región la acogen los llanos orientales con el 19,5% de distribución de búfalos en Colombia.

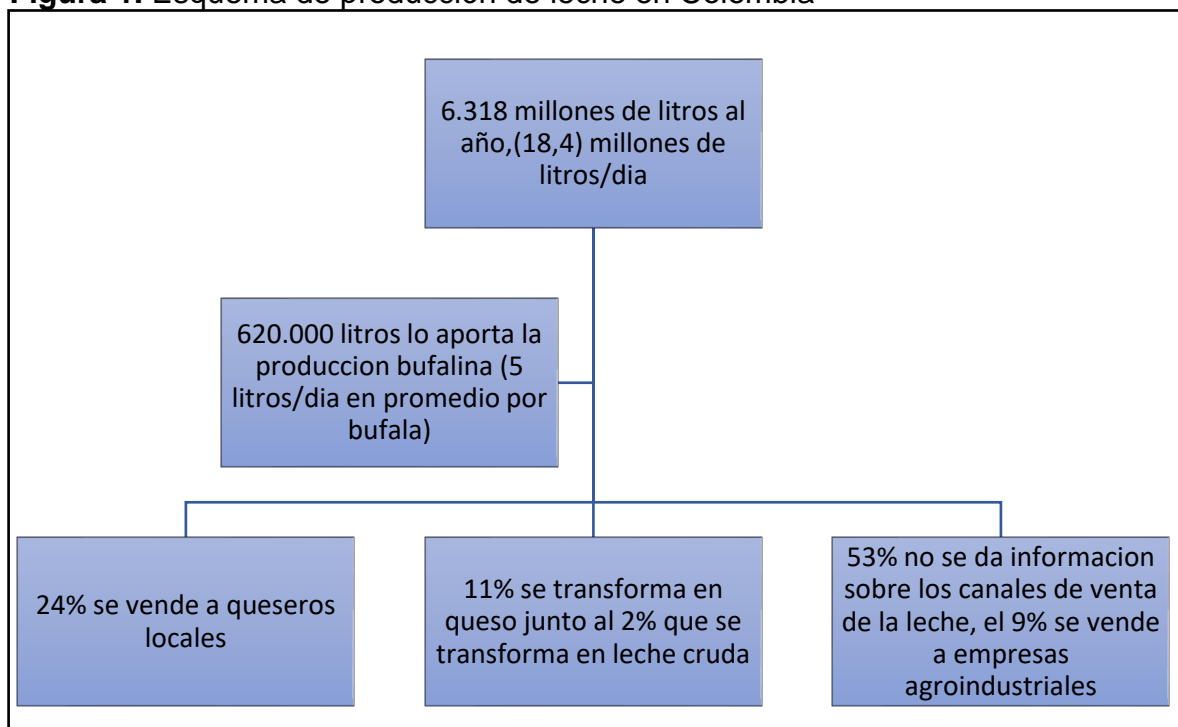
Según cifras de la Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos (ACB), en 2010 se reportaron 227.000 cabezas y en 2016 la cifra ya llega a 555.000, lo que representa un crecimiento de 144%<sup>4</sup>.

Durante el último año, se produjeron 143,3 millones de litros, dirigidos en 62% al mercado no agroindustrial y 32% al agroindustrial, cifra que, aunque no se acerca al volumen de la industria lechera vacuna, sí deja mayores rentabilidades<sup>4</sup>.

Producir un litro de leche de búfala cuesta \$590, en comparación a las vacas doble propósito que vale \$720 y las de leche especializada que cuestan \$820 pesos. Sin duda, son menores los costos de producción de esta raza en el país<sup>4</sup>.

### Producción de leche de Búfala en Colombia

**Figura 1.** Esquema de producción de leche en Colombia



**Fuente.** TECNOLACTEOSCARNICOS. Producción de leche de búfalo en Colombia (2016) (Modificado por autor)

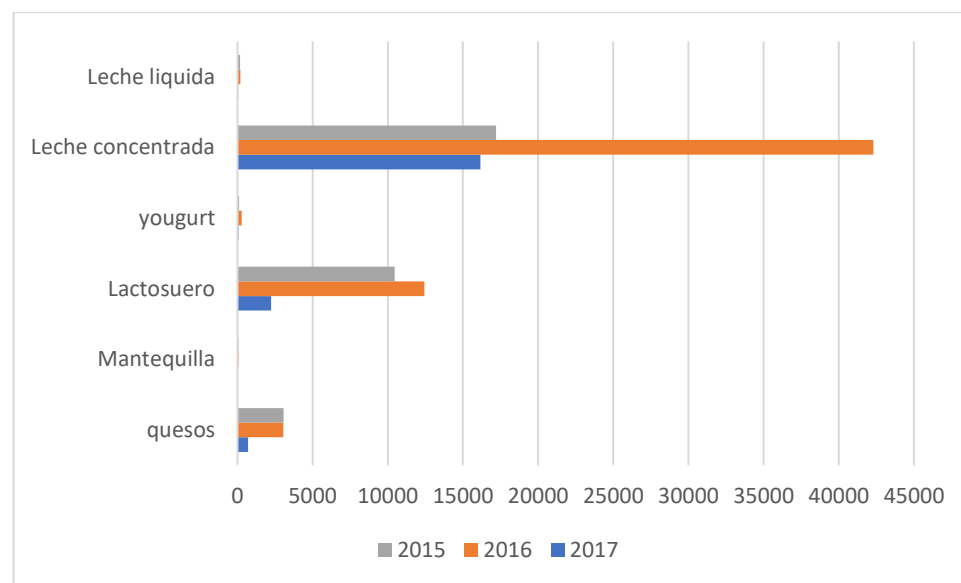
Colombia compró en el exterior un total de 8.090 toneladas de lactosuero y 7.899 toneladas de leche en polvo.

Esto se puede deber al alto costo en la tecnología del tratamiento de lactosuero y los costos de la sostenibilidad del proceso. También la falta de apoyo a las industrias lácteas y los altos impuestos que estas deben pagar.

**1.4.1.4 Importaciones de queso y lactosuero de búfala.** Al país se suele importar cerca de 1000 toneladas dato obtenido en el censo 2018 de queso ricotta proveniente de la leche de búfala, junto a el yogurt de búfala el cual a tenido una gran acogida en el mercado tanto nacional como internacional<sup>4</sup>.

También cabe aclarar que el consumo per cápita en Colombia de consumo de queso es aproximadamente 2,2kg una taza menor ya que en Argentina el consumo per cápita es de 12kg y en Francia 23 kg.

**Gráfico 2.** Composición de importaciones de lácteos en toneladas



**Fuente.** ASOLECHES. Composición de importaciones de lácteos (2017) (Modificado por autor)

Según el gráfico 2, aclarando que las unidades de importaciones son en toneladas. Se denota un comportamiento deficiente y reducido en cuanto a las importaciones de los productos lácteos. Pero se puede afirmar que se intentara apoyar más a los ganaderos colombianos y a la industria colombiana para que Colombia al ser un país rural y un fuerte país agropecuario, pueda ser uno de los principales exportadores a nivel mundial. Entre los productos que más se importan son la leche concentrada y el lactosuero el cual también se puede deber a el costo de tecnología.

**1.4.1.5 Aprovechamiento del lactosuero.** En los últimos años se han desarrollado alternativas para la recuperación de los nutrientes de alta calidad (Paris, 2009). Las características y composición del efluente (suero lácteo) permiten diseñar un abanico de opciones para el desarrollo de productos alimenticios. El criterio de selección para la elaboración de algunos de estos productos debe adecuarse a las necesidades y posibilidades de los establecimientos queseros, y considerar aspectos fundamentales, como el costo del proceso, el tiempo de producción y la posibilidad de ingresar el producto obtenido en el mercado.<sup>5</sup>

Existen una amplia variedad de productos que se pueden obtener a partir del lactosuero, como ricotta, queso tipo mysost, concentrados proteicos, suero en polvo y bebidas energéticas. El nivel de aprovechamiento de este efluente se relaciona con la factibilidad de estos productos y la utilización de sus componentes (Paris, 2009). De acuerdo con Panesar et al., (2007), de los 63,25 millones de toneladas métricas de lactosuero mundial, cerca del 45% es usado directamente en forma líquida, 30% en polvo, 15% como lactosa y subproductos y el restante como concentrados de proteína de lactosuero. Entre los productos de exitosa aceptación debido a sus bajos costos de producción, grado de calidad alimenticia y aceptable sabor, se encuentran las bebidas refrescantes (Londoño et al., 2008), bebidas fermentadas y alcohólicas, proteína unicelular, biopelículas, producción de ácidos orgánicos, concentrados de proteínas, derivados de lactosa, entre otros<sup>5</sup>.

## 1.5 CARACTERISTICAS DEL LACTOSUERO

### 1.5.1 Composición del lactosuero dulce y ácido.

**Tabla 1.** Clasificación en lactosuero ácido y lactosuero dulce

| <b>Componente</b> | <b>Lactosuero dulce(g/L)</b> | <b>Lactosuero ácido(g/L)</b> |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| Sólidos totales   | 63-70                        | 63-70                        |
| Lactosa           | 46-52                        | 44-46                        |
| Proteína          | 6-10                         | 6-8                          |
| Calcio            | 0,4-0,6                      | 1,2-1,6                      |
| Fosfatos          | 1-3                          | 2-4,5                        |
| Lactato           | 2                            | 6,4                          |
| Cloruros          | 1,1                          | 1,1                          |

**Fuente.** HUERTAS. Lactosuero: importancia en la industria de alimentos (2009)

---

5. Mosquera, et al. Aprovechamiento del lactosuero y sus componentes como materia prima en la industria de alimentos. En: CIENCIA Y TECNOLOGIA ALIMENTARIA. "Abr 5;" .p. 1-11

### 1.5.2 Tipos de lactosuero.

**Tabla 2.** Clasificación de tipos de lactosuero.

| <b>Tipo</b>                  | <b>Obtención</b>       | <b>pH</b> |
|------------------------------|------------------------|-----------|
| Lactosuero dulce             | Coagulación enzimática | 5,8-6,6   |
| Lactosuero de mediana acidez | Coagulación Mixta      | 5,2-5,8   |
| Lactosuero ácido             | Coagulación láctica    | <5,2      |

**Fuente.** UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA. Clasificación de tipos de lactosuero. (2016).

### 1.5.3 Proteínas del lactosuero.

**Cuadro 1.** Principales proteínas en el lactosuero de Búfala.

| <b>Principales proteínas</b>             | <b>Características</b>  |
|--|---|
| <b><math>\beta</math>-Lactoglobulina</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Representa el 46% de proteínas totales del lactosuero.</li><li>• Compuesta de 162 aminoácidos residuales.</li></ul>                                   |
| <b><math>\alpha</math>-Lactoalbúmina</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Comprende principalmente entre 20-25% de las proteínas totales.</li><li>• Gran afinidad en minerales como calcio, magnesio, zinc, aluminio.</li></ul> |
| <b>Albumina</b>                          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Presente en el plasma sanguíneo.</li><li>• Transporte de ácidos grasos.</li><li>• pH 7.4</li></ul>  |
| <b>Caseína</b>                           | <ul style="list-style-type: none"><li>• Precipitan cuando se acidifica la leche a un pH de 4-6.</li><li>• Proteína de lenta absorción.</li><li>• Poco solubles en agua.</li></ul>             |

**Fuente.** GARCIA. Principales proteínas del lactosuero de búfala. Pag 132 (2017)



## 1.6 TIPOS DE PROTEINAS EN CUANTO A SU PROCESAMIENTO FINAL

Desde el punto a nivel industrial en cuanto su procesamiento se obtienen 3 tipos de proteínas principales en cuanto a su elaboración:

**Proteínas concentradas:** Son proteínas denominadas comúnmente hipercalóricas, es un polvo de proteína el cual contiene altos índices de azúcares, grasas, lactosa, caseína, maltodextrina, sodio; de acuerdo con que la proteína tiene un proceso menor de filtrado.

Este tipo de proteína suele tener alta cantidades de ácidos grasos esenciales y lactosa por lo cual en algunos casos puede haber problemas de digestión en cuanto a las personas que consumen este tipo de proteínas.

**Proteínas hidrolizadas:** Son proteínas las cuales han pasado por un proceso de hidrólisis la cual por medio de electrolisis se separan iones tales como Mg, K, Na, permitiendo una proteína con menos contenido de grasa y un porcentaje de proteína mayor por cantidad de porción cerca al 85%.

**Proteínas aisladas:** Es el polvo de suero de leche el cual a tenido un intensivo proceso de pureza utilizando técnicas de ultrafiltración la cual permite eliminar impurezas restantes del proceso, teniendo como producto final una gran cantidad de proteína cerca al 90%, y 2% de grasas. Se le denomina proteína limpia y tienden a tener un costo más elevado.

Para este estudio, el cual se basa en extracción de proteína en polvo a partir de lactosuero. Se tomará como referencia extraer una proteína de tipo concentrada, polvo de proteína que contenga por lo menos el 85% de proteína.

Por lo tanto, en los procesos de extracción a nivel laboratorio y planta, no se tomarán técnicas como la ultrafiltración.

## 1.7 TECNOLOGIAS DE PROCESAMIENTO DE LACTOSUERO

**1.7.1 Evaporación a vacío.** Es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial. A diferencia de la ebullición, la evaporación se puede producir a cualquier temperatura, siendo más rápida cuanto más elevada sea esta.

La evaporación se realiza a presión reducida o presión de vacío para evitar reacción Maillard, permitiendo así ahorros energéticos y una mejor calidad en el producto final y se elimina cerca al 80% de agua; concentrando el lactosuero.

La temperatura durante el secado no debe superar los 93°C, formándose en el lactosuero la proteína  $\beta$ -lactosa a temperaturas superiores. El tiempo de secado

debe ser también tomado en consideración. Durante el secado rápido tiende a formarse una delgada capa de lactosa amorfa sobre los cristales  $\alpha$ -hidratos, lo que puede dar lugar posteriormente a la formación de grumos<sup>6</sup>.

### Imagen 1. Evaporación al vacío



**Fuente: BUCHI** (Tecnologías de evaporación) (2017)

En cuanto al esquema anterior, este representa la tecnología que se usa a nivel industrial en la etapa de evaporación de procesamiento de alimentos lácteos.

Se usan bombas de recirculación para recircular el vapor hacia la chaqueta de calentamiento y tener un ahorro energético ayudando a calentar el producto, junto a los intercambiadores de calor.

La evaporación a nivel de laboratorio se hace por medio de un roto evaporador a presión de vacío cerca a las 0.098 atm, permitiendo que la temperatura del punto de ebullición se reduzca y así se separe el soluto de interés del solvente, que en este caso sería el agua.

---

6. Procesamiento del lactosuero. [0]. "Mar 20;". Disponible en: <http://publitec.com.ar/contenido/objetos/Procesamientodellactosuero.pdf>

**Cuadro 2.** Especificaciones técnicas etapa evaporación a nivel de laboratorio.

| <b>Características del equipo</b> | <b>Proceso</b>   |
|-----------------------------------|--|
| Rotaevaporador                    | Presión cerca al vacío (0.098 atm)                         |
| Bomba al vacío                    | Temperatura máxima (50 °C)                                 |
| Matraz de muestra                 | Matraz de (100-500ml)                                      |
| Control del condensado            | 200-210rpm   |
| Cantidad de procesamiento         | Depende de la cantidad de lactosuero cerca de 180min/Litro |

**Fuente:** elaboración propia

**1.7.2 Secado en lecho fluidizado.** Los materiales procesados en un secador o enfriador de lecho fluidizado flotan sobre un colchón de aire o de gas.

En esta etapa se concentran los sólidos totales permitiendo así una reducción de la humedad de un 6% para tener un lactosuero con 14% en contenido de agua y reducir la  $A_w$  (actividad de agua variando entre 0.6-0.8) para evitar la actividad de microorganismo.

**Cuadro 3.** Especificaciones técnicas secado de lecho fluidizado a nivel laboratorio

| <b>Características del equipo</b>           | <b>Características del proceso</b>              |
|---|---|
| Manómetro                                   | Temperatura máxima (90 °C)                      |
| Sensores de temperatura de entrada y salida | Tiempo de secado de retención máxima (15-20min) |
| Caudalímetro                                | Reducción de actividad de agua ( $A_w$ ) 0.7    |

**Fuente:** elaboración propia

## Imagen 2. Secador de lecho fluidizado



**Fuente.** DIRECTINDUSTRY. Secado por lecho fluidizado (2016)

**1.7.3 Ciclón.** Es un método por el cual se pueden separar sólidos de líquidos de diferente densidad por medio de una fuerza giratoria. La fuerza centrífuga es provista por una máquina llamada centrifugadora, la cual imprime a la mezcla un movimiento de rotación que origina una fuerza que produce la sedimentación de los sólidos o de las partículas de mayor densidad<sup>7</sup>.

La operación se suele realizar a 25 °C y 1 bar de presión, donde también se suelen eliminar cerca de 60-80% de grasas del lactosuero<sup>7</sup>.

Se realizará una centrifugación por medio de tubos de ensayo por medio de centrifugación diferencial, donde se usará la técnica preparativa para la separación de sólidos inmerso en los líquidos en una centrifuga de baja velocidad a 6000rpm

**Cuadro 4.** Especificaciones técnicas del proceso de centrifugación a nivel laboratorio

| <b>Características del equipo</b> | <b>Características del proceso</b>                       |
|-----------------------------------|--|
| Control de velocidad              | Temperatura ambiente (16-25c)                            |
| Tacómetro                         | Presión (1bar)   |
| Freno                             | Velocidad (4000-6000prm)                                 |
| Interruptor                       | Tiempo de permanencia (5min por cada 6 muestras de 70ml) |

**Fuente:** elaboración propia

---

7. 1kodi. suero proteína en polvo en alta eficiencia GFG. [0]. [Consultado el "Mar 2,"2019]. Disponible en: <http://es.chinaspraydryer.com/whey-protein-powder-high-efficiency-gfg>.

**1.7.4 Osmosis inversa.** Es un fenómeno físico relacionado con el movimiento de un disolvente a través de una membrana semipermeable. Tal comportamiento supone una difusión simple a través de la membrana, sin gasto de energía.

La presión requerida depende principalmente del tamaño de los poros de la membrana; Se debe mantener un pH de 8, para evitar acidificaciones dentro de la estructura proteína, y una temperatura cerca a los 35 °C.

En cuanto a condiciones de operación la hidrólisis tiene un pH de operación sobre un rango de 3.5 a 9 y una temperatura ente los 60 °C y 80 °C<sup>8</sup>.

**1.7.5 Filtración.** Proceso unitario de separación de sólidos en una suspensión a través de un medio mecánico poroso, también llamados tamiz, criba, cedazo o filtro. En una suspensión de un líquido mediante un medio poroso, retiene los sólidos mayores del tamaño de la porosidad y permite el paso del líquido y partículas de menor tamaño de la porosidad<sup>9</sup>.

En este caso se separa la proteína de la grasa y la lactosa del lactosuero, usando procesos principales de filtración a escala laboratorio, las cuales se pueden realizar de dos maneras:

Filtración atmosférica

Filtración al vacío

Se pueden combinar las dos técnicas para obtener un producto líquido más puro y aumentar el contenido de proteína final y disminuir el porcentaje de grasas<sup>9</sup>.

---

8. Universidad de Oviedo. Cámaras de secado. [0]. [Consultado el "Feb 12,"2019]. Disponible en: [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/32386/7/TFM\\_EvaGuardiola.pdf3](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/32386/7/TFM_EvaGuardiola.pdf3).

9. CHACON,Alejandro. Tecnología de membranas en la agroindustria láctea. [0]:17th ed. Agronomía Mesoamericana: 2016. 22

**Cuadro 5. Tipos de filtrado básicos y condiciones a nivel laboratorio**

| <b>Tipos de filtrado</b> | <b>Características y condiciones</b>   |
|--------------------------|--|
| Filtración atmosférica   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Se realiza a presión atmosférica y a temperatura ambiente.</li><li>• Medio filtrante se usa un papel filtro y se usa principalmente para obtener el sobrenadante en gran cantidad al final del proceso.</li></ul>  |
| Filtración al vacío      | <ul style="list-style-type: none"><li>• Se realiza mediante una bomba al vacío</li><li>• Se obtienen presiones de 0.100 atm, y a una temperatura ambiente.</li><li>• Se realiza para sólidos los cuales se es imposible filtrar a presión atmosférica por la complejidad de la relación soluto-solvente.</li></ul> |

**Fuente:** elaboración propia

**1.7.6 Atomización.** Es un proceso en el cual el lactosuero concentrado que sale de la etapa de filtración ingresa a una cámara de secado donde luego pasar por la etapa de homogenización, este pasa a través de orificios muy pequeños cerca de los 0.3 micras, posterior a ello el lactosuero pasa a la cámara de secado donde se mezcla con una corriente de aire caliente aproximadamente 180 °C a 250 °C para llegar cerca al 3% de humedad de producto terminado, convirtiéndose en polvo.

El mecanismo de expulsión puede ser activado manualmente o mediante un gas<sup>10</sup>

---

10. Nutritienda. Aislado de proteína de suero microfiltrada por flujo cruzado. [0]. "Ene 1, 2010". [Consultado el Mar 2,2019]. Disponible en:

**Imagen 3.** Secado por atomización.



**Fuente.** CIMATEC. Aspersor. (2015)

**Cuadro 6. Condiciones de operación de secado por atomización a nivel laboratorio**

| <b>Características del equipo</b> | <b>Características del proceso</b>  |
|-----------------------------------|---|
| Bomba para homogenizar líquido    | Corriente de aire a 150 °C para el proceso de secado.   |
| Orificios cerca a los 0.3 micras  | Se maneja una presión por la bomba al homogenizar cerca a los 200psi  |
| Ingreso a la corriente de entrada | Se deben tener al menos 20% de sólidos totales para poder solidificar el líquido. Tiempo de operación 90 min. |

**Fuente:** elaboración propia

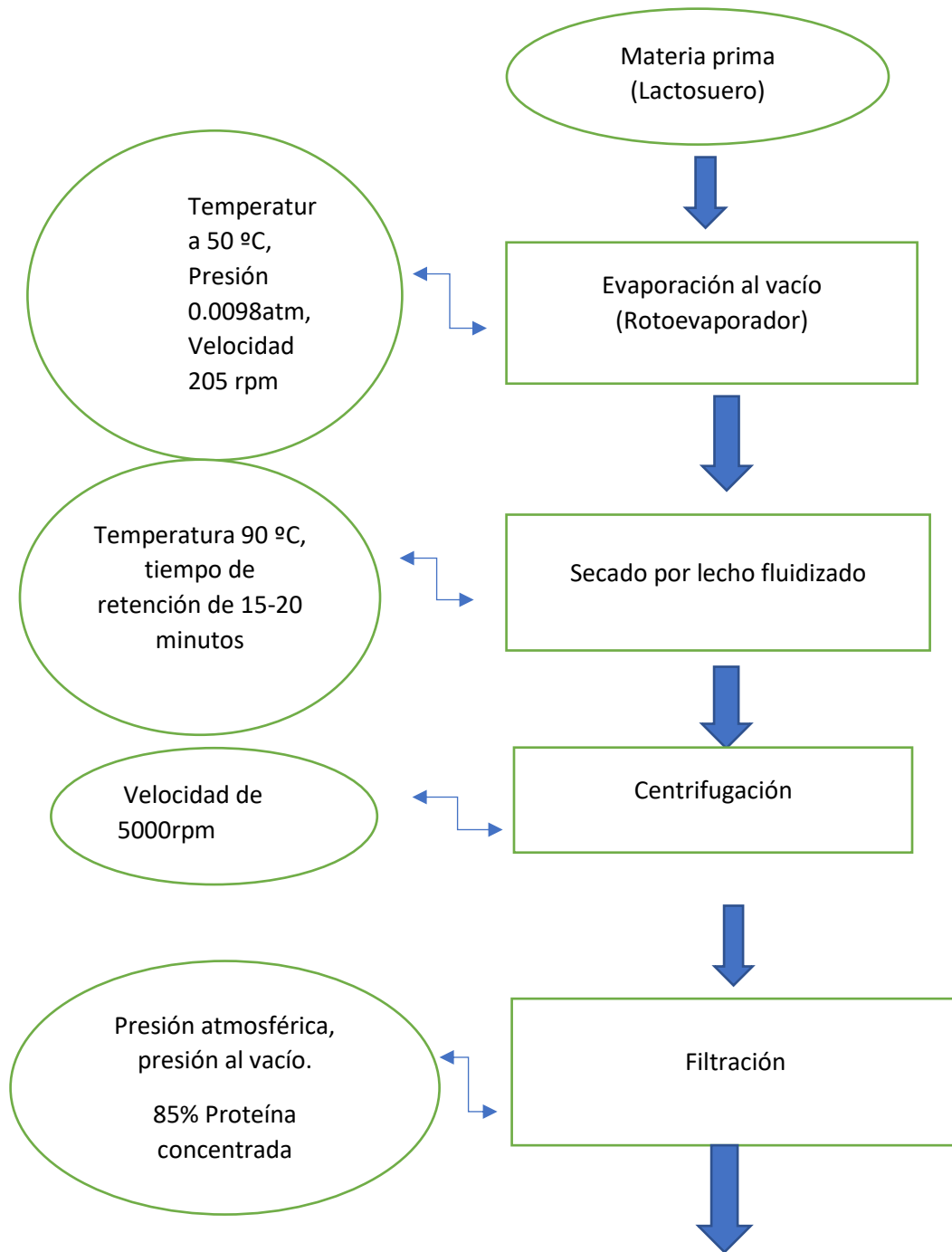
**1.7.7 Enfriamiento.** En esta etapa se usan vibro-fluidizadores donde se ayuda a bajar la temperatura del polvo de proteína manejándolo en rangos de 10 °C -15 °C permitiendo que la humedad disminuya al 3% y el tamizado y el empaque sea procesos más fáciles de hacer. Una de las desventajas es la cantidad de grumos que se pueden formar los cuales son difíciles de eliminar por el alto porcentaje de humedad que sale del proceso de secado por atomización.

**1.7.8 Tamizado.** Se realiza un tamizado donde se eliminan grumos del proceso anterior enfriamiento para tener un producto con una mejor calidad y cerca del 70-80% de proteína final.

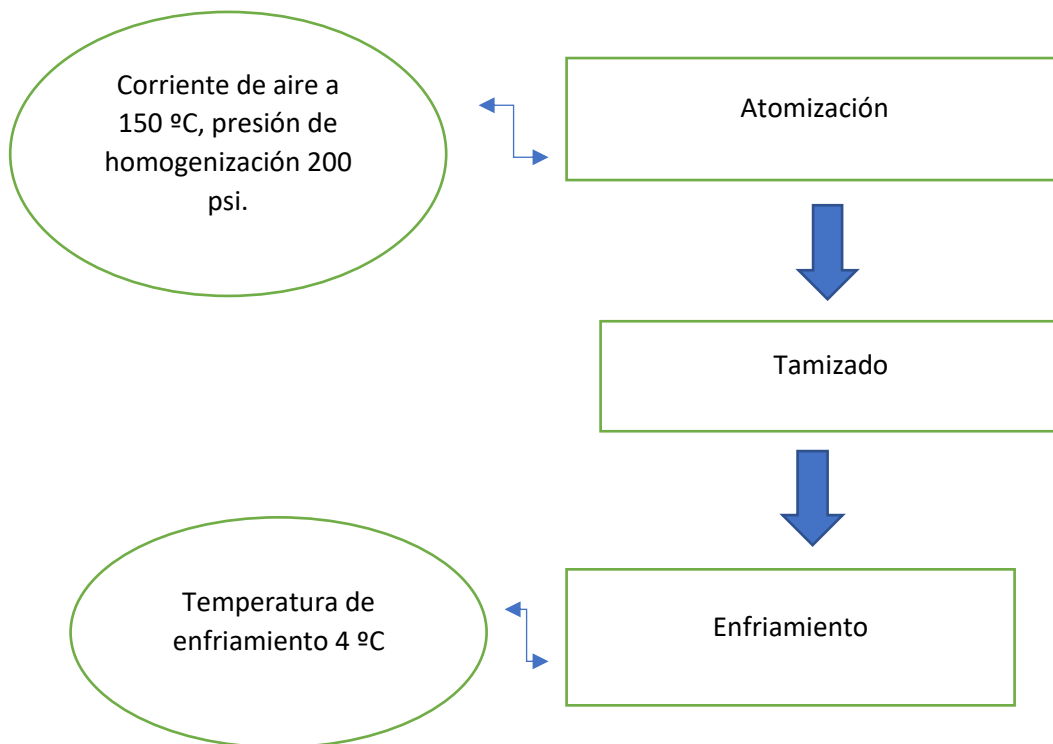
## 1.8 DIAGRAMA DE PROCESAMIENTO DE PROTEINA EN POLVO

Según las tecnologías mencionadas en el capítulo anterior y condiciones de temperatura y presión, se realiza un diagrama del proceso de extracción de la proteína en polvo a escala laboratorio del proceso.

**Figura 2. Proceso de extracción de la proteína en polvo.**







**Fuente:** elaboración propia

Cerrando el capítulo anterior, la temperatura debe ser controlada a lo largo de todo el proceso, lo que requiere por consiguiente un control de instrumentación de procesos en lazo cerrado con sistemas de control de cascada y relación por flujo. Esto permite incluir procesos de evaporación al vacío donde nuevas tecnologías como la realimentación del vapor condensado se tendrán en cuenta para optimizar los procesos de producción.

Teniendo en cuenta los aspectos como presión y humedad se toma la mejor opción de realizar operaciones a vacío como evaporación a presión reducida la cual permite ahorrar los costos de producción y para permitir optimizar el proceso se eligió técnicas de última tecnología como filtrado por flujo cruzado el cual permite alargar la vida útil de los procesos de filtrado para evitar el mantenimiento constante. Para proteger el producto se toma la decisión de un enfriamiento a corto tiempo cerca de 15 minutos para evitar la desnaturalización de la proteína.

Para saber qué tipo de proceso utilizar, con qué condiciones funciona mejor, como se tiene un mayor rendimiento y la calidad del producto final; se debe tener en cuenta las decisiones y condiciones de cada operación, así como la comparación de cada proceso y las características de cada uno.

En cuanto a la reducción de humedad del producto final se toma como elección el secado por lecho fluidizado, para disminuir la actividad de agua de microorganismo,

y por secado final el proceso de atomización por aspersión el cual con una corriente de aire cercana a los 150 °C, reduciría la humedad del producto a un 5%.

Teniendo en cuenta que la extracción de proteína a partir de lactosuero de búfalo tiene factores sensibles como el control de temperatura entre un rango de 15 °C-70 °C, se tomaran diseños de los equipos en el cual su prioridad sean los cambios mínimos de temperatura sin tener tiempos de retención bruscos más allá de los 50 minutos y tiempo de retención que también favorecen a la corrosión de los equipos y realizar un mantenimiento preventivo. De la misma manera que al ser una proteína concentrada se reducen los costos en énfasis a la filtración; pero se debe tener en cuenta que se deben tener unos estándares mínimos de concentración de proteína final, sin influir en el contenido final de nitrógeno incluyendo aditivos extras como creatina o taurina que lo que hacen es elevar el contenido de nitrógeno teniendo en cuenta que la cantidad de aminoácidos.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL EXTRACCION DE PROTEINA

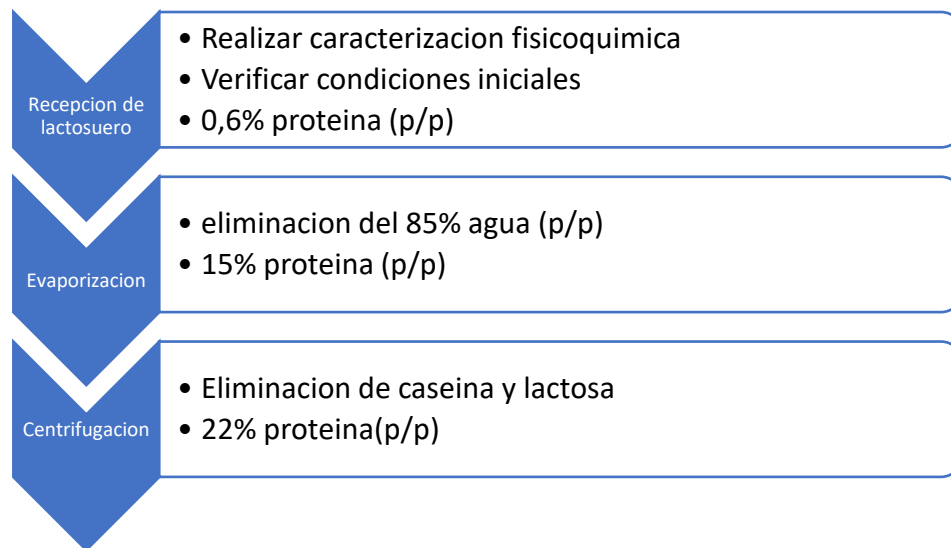
### 2.1 OBJTIVO

El desarrollo experimental de extracción de proteína se realizará con el fin de extraer el polvo de proteína concentrado a nivel de laboratorio. Recolectando los datos obtenidos del primer capítulo. El cual determino las mejores tecnologías y condiciones de procesamiento a escala laboratorio. Se analizarán los resultados obtenidos relacionándolo a la pregunta de investigación, analizando directamente las eficiencias de un nuevo producto el cual no a estado en el mercado actual, eligiendo los parámetros adecuados a realizar.

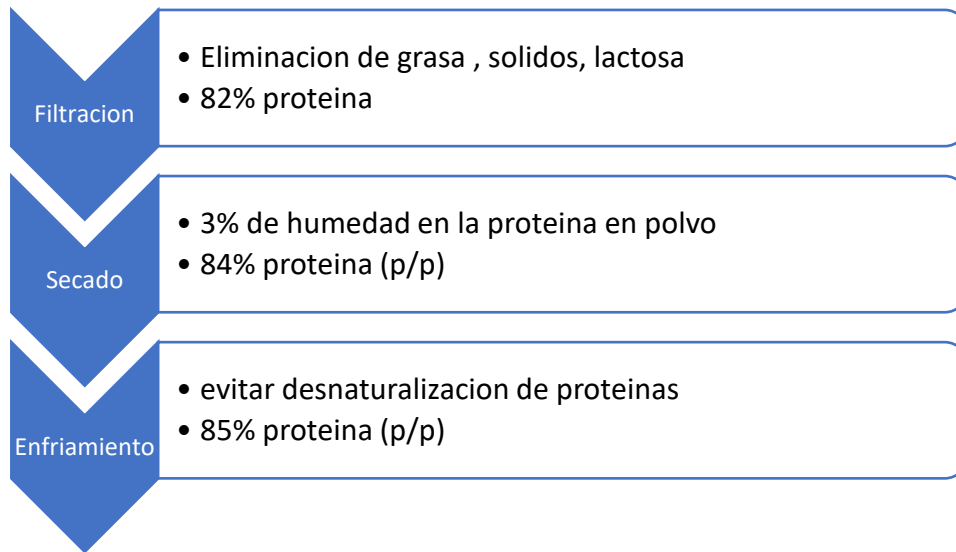
### 2.2 SELECCIÓN DEL METODO DE APROVECHAMIENTO ´

El siguiente diagrama representara de forma adecuada los pasos a seguir en orden consecutivo la metodología que se realizara a nivel laboratorio.

**Figura 3.** Diagrama de pasos a nivel metodológico



**Figura 3. (Continuación)**



**Fuente:** elaboración propia

### 2.3 METODOLOGIA DE EXTRACCION DE PROTEINA EN POLVO

Acá se realizará el paso a paso de la extracción de la proteína en polvo de búfala, siguiendo el diagrama (figura 2 y 3) de los pasos a seguir.

**Imagen 4. Lactosuero de Búfala**



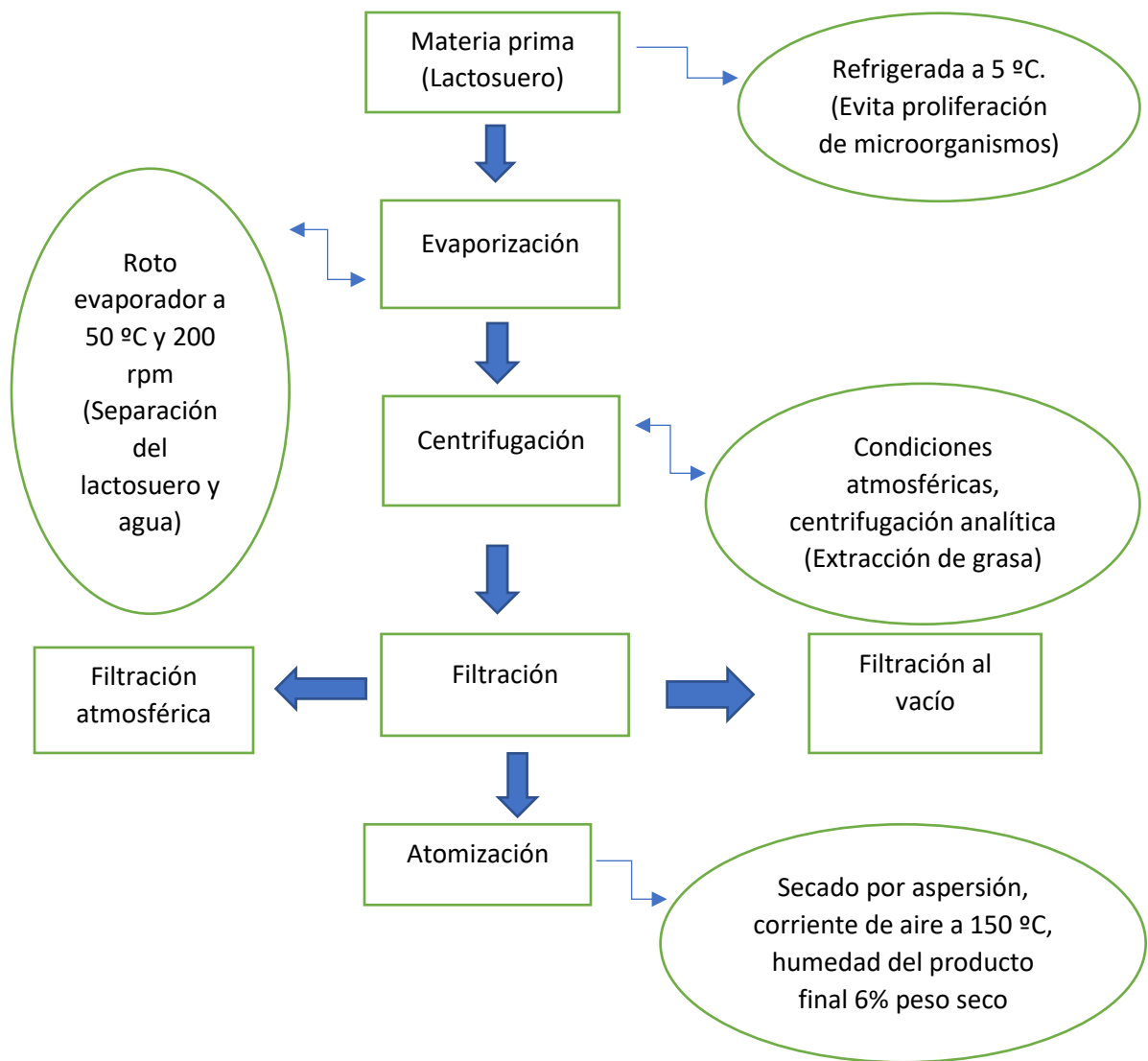
**Fuente:** elaboración propia

El lactosuero de búfala fue proporcionado por la empresa Dibúfala. Este se obtuvo por medio del proceso de la maduración de la pasta, la cual por medio de coagulación dulce se obtuvo el lactosuero.

Se utilizaron microorganismos homofermentativos y heterofermentativos durante la coagulación donde la leche se almacena a 25 °C.

El lactosuero proviene de las búfalas de género (*Bubalus bubalis*) de la sabana de Bogotá en la vereda de Rosales km 18 (vía Medellín), y se obtuvieron cerca de 7L de lactosuero líquido para la extracción.

### 2.3.1 Diagrama de proceso de extracción a nivel laboratorio



**Fuente:** elaboración propia

**2.3.2 Evaporación.** La evaporación se realizó a presión de vacío (0.098atm) por medio de un roto evaporador, Este constaba de un matraz de 500ml donde se evaporo 5L de lactosuero de búfala de los 7L iniciales. Entrando en contacto con agua a 48 °C garantizando el contacto del matraz con el agua y por medio de transferencia de calor por convección y conducción se transfirió calor cerca de 6 horas.

**Imagen 5. Controladores del roto evaporador**



**Fuente:** elaboración propia

**Imagen 6. Roto evaporación**



**Fuente:** elaboración propia

La roto evaporación se realizó a 202 rpm en un equipo modelo Buchi RE121, el tiempo por cada muestra fue de 30 minutos a 48 °C, lo cual dio un tiempo total de 6 horas en total. Cabe anotar que la ficha técnica de cada equipo está en los anexos.

**2.3.3 Centrifugación.** La centrifugación se llevó al cabo por medio de una centrifuga donde por medio de tubos de 15ml (8 tubos en total) a una temperatura de 20 °C y 1 bar de presión; se centrifugo 1.7L de lactosuero concentrado, resultantes de la

roto evaporación en 120ml cada 6 minutos a 4500 rpm. El cual tomo un tiempo total de 3 horas.

#### **Imagen 7. Centrifugación de la muestra de lactosuero**



**Fuente:** elaboración propia

Es importante centrifugar la muestra de lactosuero para evitar inflamaciones renales, permeabilidad intestinal y molestias digestivas a la hora de la ingesta de la proteína en polvo.

**2.3.4 Filtración.** Se eligieron dos tipos de filtración para una mejor calidad final del producto.

- La filtración atmosférica se realizó por medio de un embudo y papel filtro de unas características, diámetro de 150mm, 65g/m<sup>2</sup>; marca Boeco Germany.

**Imagen 8. Filtración atmosférica**



**Fuente:** elaboración propia

**Imagen 9. Filtración al vacío**



**Fuente:** elaboración propia

**2.3.5 Secado por aspersión.** El secado por aspersión se realizó en un equipo de atomización marca Buchi el cual se aplicaron las siguientes características:

- Se empleo un flujo de evaporación de 1700 ml/h
- Se usaron dos canales 0,5mm
- Se utilizo una corriente de vapor a 150c.



El compresor trabajo a 3,2 bar permitiendo homogenizar el producto antes de llegar al cono de aspersión.

#### **Imagen 10. Secado del lactosuero concentrado.**



**Fuente:** elaboración propia

Hay que tener en cuenta que para que el líquido se solidifique debe contener al menos una concentración entre el 20-30% de sólidos totales, para que el producto se solidifique.

Los cambios de temperatura en la corriente de aire permiten que la concentración de proteína en el producto final sea mayor y ayudaría a tener mejores resultados en la pureza y en la eficiencia.

#### **Imagen 11. Obtención proteína en polvo**



**Fuente:** elaboración propia

## 2.4 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

Se obtuvo 7L iniciales de lactosuero de búfalo en el cual la materia prima la cual en el proceso del desuerado enzimático se elevó la temperatura cerca a los 12 °C para precipitar el lactosuero.

Durante la roto evaporación se inició con una muestra de 5L, donde se perdió cerca de 3300ml de agua para quedar un resultante de 1,7 L de lactosuero concentrando, eliminando gran cantidad de agua ya que el lactosuero contiene cerca de 93,8% de agua. Este proceso permitió que el lactosuero se concentrara y al tener una temperatura controlada de 43 °C se evitó la desnaturalización de la proteína y los costos energéticos por realizarlo a condiciones de vacío redujo los costos energéticos.

Durante el proceso de centrifugación se observó que después de cada centrifugación de notaron los restos de lactosa y caseína depositados en el fondo de cada tubo de centrifugadora. Ese sobrenadante es resto de lactosa y caseína la cual se pesó los sobrenadantes en 6 tubos arbitrarios donde se obtuvo.

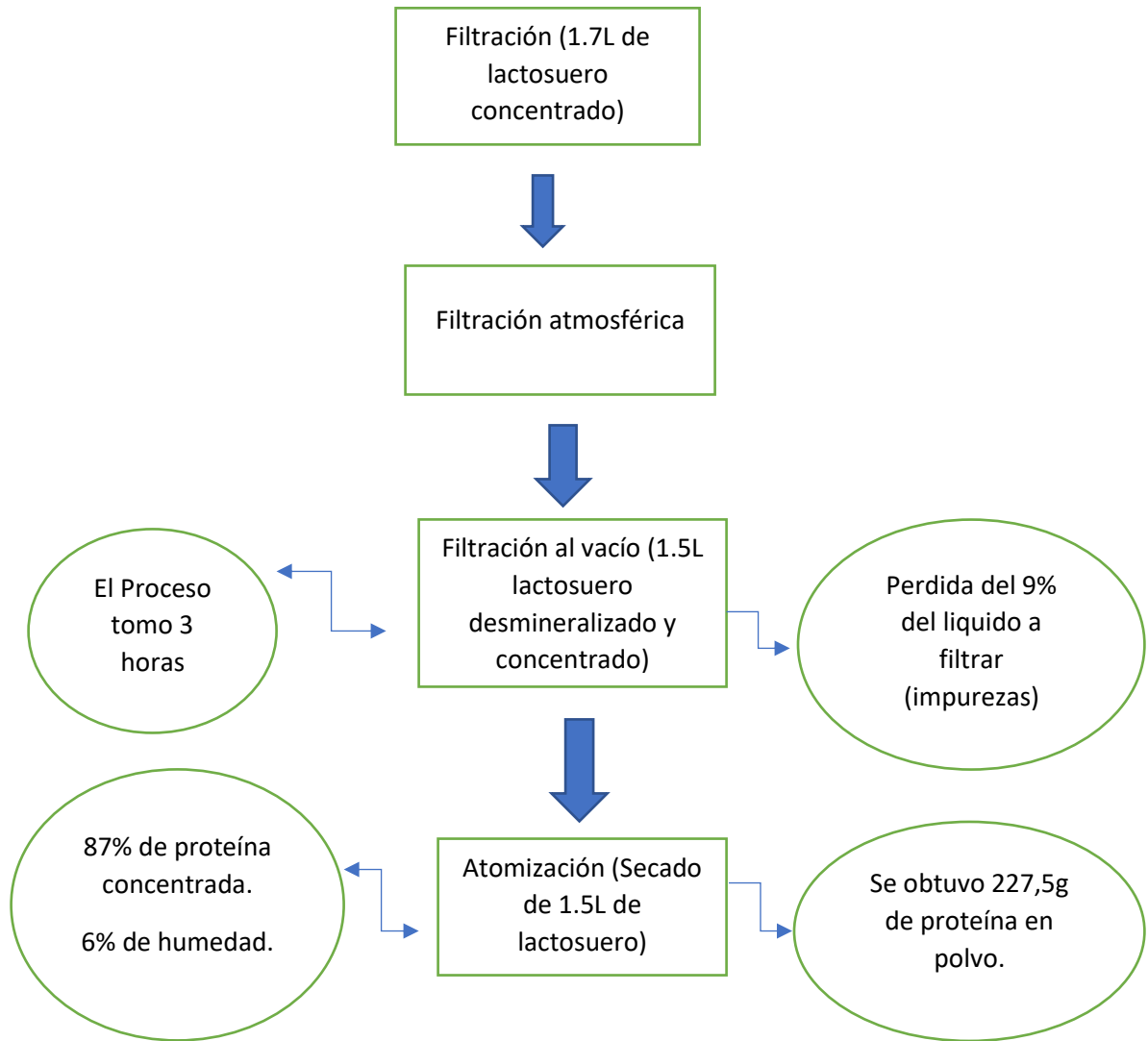
**Tabla 3.** Peso de sobrenadantes en tubos arbitrarios de centrifuga.

| <b>Tubos de centrifuga</b> | <b>Peso de cada tubo (g)</b> |
|----------------------------|------------------------------|
| 1                          | 1.3                          |
| 2                          | 1.6                          |
| 3                          | 1.4                          |
| 4                          | 1.4                          |
| 5                          | 1.3                          |

**Fuente:** elaboración propia

Realizando un promedio entre los pesos de lactosa y caseína restante se obtiene una media de 1,4g de lactosa y caseína.

- Diagrama de extracción proteína en polvo a partir del lactosuero concentrado.



**Fuente:** elaboración propia

En cuanto a la humedad esta condición para el lactosuero que se seleccionó (1.5L) para el lactosuero en proteína polvo al final se debería tener una humedad cerca al 4% como se dijo en el primer capítulo, este parámetro se determinó por método de prueba estándar para la determinación de humedad según la norma ASTM D-2216-98 y los resultados obtenidos según el procedimiento de la norma se reemplazaron en la ecuación 2 como se muestra a continuación:

**Ecuación 1.** Porcentaje de humedad durante la extracción de proteína

$$\left(\frac{M_w}{M_s}\right)(100) = W$$

$$W = \left(\frac{1539g}{227,5g}\right) \times 100 = 6,7\%$$

En la ecuación 1 se eligieron 1539g el cual corresponde a la cantidad de lactosuero concentrado después de la etapa de filtración ( $M_w$ ). Este se dividió por el peso seco del polvo de proteína final obtenido después de la etapa de atomización ( $M_s$ ).

Para el enfriamiento el polvo de proteína se almaceno en una bolsa zip para evita entradas de aire y que la proteína tuviera un proceso de oxidación por humedad más rápido. Temperatura ambiente 18 °C.

**Tabla 4. Comparación de humedad final.**

| Humedad producto experimental (%) | Humedad teórica (%) |
|-----------------------------------|---------------------|
| 6,7                               | 5                   |

**Fuente:** elaboración propia

Teniendo la cuenta los datos anteriores se obtiene el porcentaje de error:

**Ecuación 2.** Porcentaje de error del proceso experimental

$$\frac{\%experimental - \%teorico}{\%teorico} \times 100$$

$$\frac{6,7 - 5,1}{5,1} \times 100 = 34\%$$

Este porcentaje de error no afecta el producto final y no se toma en cuenta la vida útil de conservación del producto. Para reducir el porcentaje de error se puede llevar el lactosuero antes del proceso de filtración un proceso de secado por medio secado por osmosis inversa para obtener resultados de humedad menores, y después del proceso de aspersion se puede pasar por un proceso a temperatura controlada para evitar la desnaturalización de proteínas.

### **3. DIMENSIONAMIENTO PLANTA-PILOTO**

#### **3.1 FACTORES INICIALES**

En cuanto al proceso técnico de elección de equipos se tomó en cuenta las características fisicoquímicas descritas anteriormente en los anteriores objetivos, teniendo en cuenta las características del proceso de producción a nivel industrial se tendrán en cuenta variables como:

Recursos energéticos, temperatura de desnaturalización, presión en equipos y membranas de filtración, pH, tipos de materiales y equipos, tiempo de retención del producto, pérdidas energéticas por fricción, mantenimiento preventivo.

Esto se tomó en cuenta, ya que son variables importantes para el proceso de planta, para la obtención de una proteína en polvo rica en aminoácidos y proteínas.

#### **3.2 METODOS DE TRABAJO**

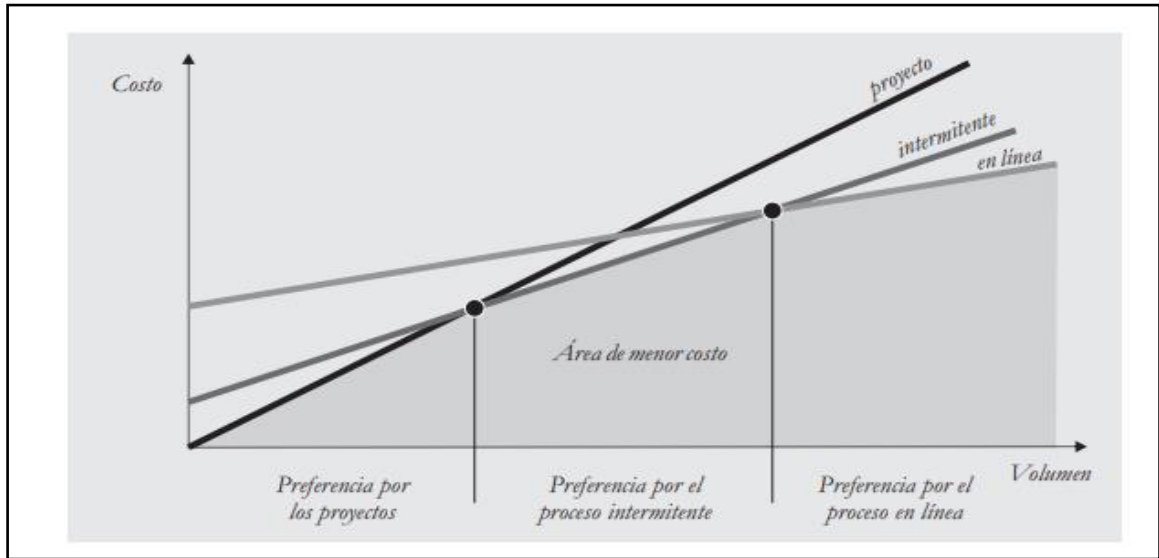
La elección del proceso de producción se basó sobre los objetivos de flexibilidad, costos, calidad y tiempo.

Estos incluyen flujos y cantidad de producción de la planta, y se enfoca en procesos en línea del proyecto, incluyendo así la tecnología del proceso permitiendo así una mejor eficiencia en el producto de salida.

Teniendo en cuenta las condiciones iniciales descritas en el primer capítulo, y los resultados analíticos obtenidos en la extracción a escala laboratorio, se puede establecer una relación, enfocándose en la parte técnica del proceso en cuanto a las máquinas a utilizar en los procesos, los tipos de materiales, los tiempos de retención en cada proceso.

También se tendrán en cuenta especificaciones técnicas como los accesorios que indirectamente no están incluidos dentro de los principales procesos como bombas, tuberías, accesorios, sistemas automatizados de control y estrategias de control por medio de los procesos para tener en cuenta.

**Figura 4. Curvas de costos para las operaciones de procesos**



**Fuente.** CARRO. Diseño y selección de procesos (2018)

En la siguiente figura, se puede demostrar que los procesos en línea como el elegido para la producción de lactosuero de búfala; disminuyen los costos al aumentar el volumen de producción, y tiene un área de menor costo de producción independiente de los lotes de producción y la base de cálculo elegida.

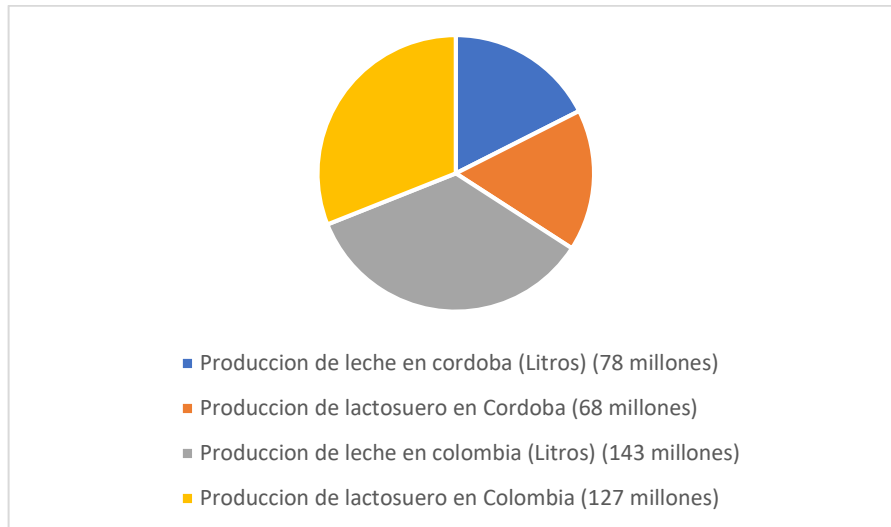
### **3.3 DEMANDA DE QUESOS Y PRODUCCION DE LECHE EN LA REGION DE MONTERIA**

Según Agronegocios 143,3 millones de litros de leche de Búfala se obtienen cada año en Colombia <sup>11</sup>. Eso quiere decir que cerca de 127,3 millones de litros de lactosuero de Búfala se producen alrededor de Colombia de los cuales la región de Córdoba tiene una participación de 40.000 Búfalas <sup>10</sup> para la producción de leche, por lo tanto, la región de Córdoba produce aproximadamente 72 millones de litros aproximadamente al año lo que quiere decir que tiene una demanda de lactosuero de 64 millones de litros anuales; reportando así 177.000 litros de lactosuero diarios aproximadamente.

---

11. ALFONSO, Katherin. Lácteos de búfala conquistan el mercado internacional. [0]. " Ene 23; ". [Consultado el "Abr 3; "2019]. Disponible en: <https://www.agronegocios.co/ganaderia/lacteos-de-bufala-conquistan-el-mercado-internacional-2623176>.

**Gráfico 3. Producción de leche de búfala y lactosuero en la región de Córdoba.**



**Fuente.** AGRONEGOCIOS. Venta de leche de búfalas en Colombia. (2016) (Modificación por autor)

### 3.4 DIMENSIONAMIENTO

A través de la base de cálculo que se obtuvo en el laboratorio a partir de 1.5L de lactosuero se obtuvo 227.5g de proteína en polvo; para elegir el proceso se tendrá en cuenta primero la demanda de producción de leche y quesos en la región de Córdoba en montería, ya que en esta región ahí mayor cantidad de búfalos en Colombia por lo tanto mayores productores<sup>12</sup> y la calidad del lactosuero y los quesos es mejor.

Teniendo en cuenta la demanda del mercado en cuanto a la producción de lactosuero de Búfalo el cual ronda aproximadamente cerca a los 177.000 litros diarios y las condiciones de tamaño de la empresa la cual se considerará una empresa mediana, se apuntará a procesar 30000L/Día lo cual corresponden cerca de 2500 Litros/h de lactosuero pronosticando 12 horas de trabajo de las cuales las otras corresponderían a mantenimiento preventivo.

---

12. Burgos and Mario. Razones para amar la leche de búfala. En: SEMANA. "May 9;2018 "

Para ello se tomará en cuenta 7 operaciones unitarias establecidas en un proceso lineal las cuales son (Evaporización, Centrifugación, Desmineralización, Filtrado, atomización, Enfriamiento y almacenamiento).

**3.4.1 Capacidad de producción.** Esta capacidad de producción se relaciona directamente con satisfacer las necesidades de mercado.

Al tener en cuenta que el producto de Proteína en polvo a partir de lactosuero de búfalo es un mercado nuevo el cual está dirigido principalmente a deportistas de alto rendimiento para satisfacer sus necesidades energéticas y calóricas.

Definiendo los componentes de la línea de producción se le puede tomar agregar valor al producto.

Al poder determinar el grado o porcentaje de eficiencia teniendo en cuenta la cantidad de procesamiento de cada operación unitaria. Se va a tener en cuenta que por cada línea de producción se trabajaran 8h de turno alrededor de 150 personas.

#### **Ecuación 3.** Capacidad de producción

$$Cdp = (Tpt) \times (Tr) \times (Te) \times (Ht)$$

Donde:

Cdp es la capacidad de producción en condiciones normales

Tpt es producción teórica por hora

Tr es la tasa de rendimiento

Te es la tasa de eficiencia

Hr son las horas por turno

Teniendo así según la ecuación 3:

$$Cdp = (2500) \times (0.34) \times (0.80) \times (12) = 8160L/h$$

Esto quiere decir que 8160L/h es la producción máxima de la planta, frente a los 2500L/h que se quiere procesar sobre la capacidad de producción en condiciones normales.



**3.4.2 Estrategia control sobre los procesos.** Al tener claro que es un proceso donde también se requiere varios tipos especificaciones técnicas detalladas, este capítulo no se enfocó en diagramas P&ID.

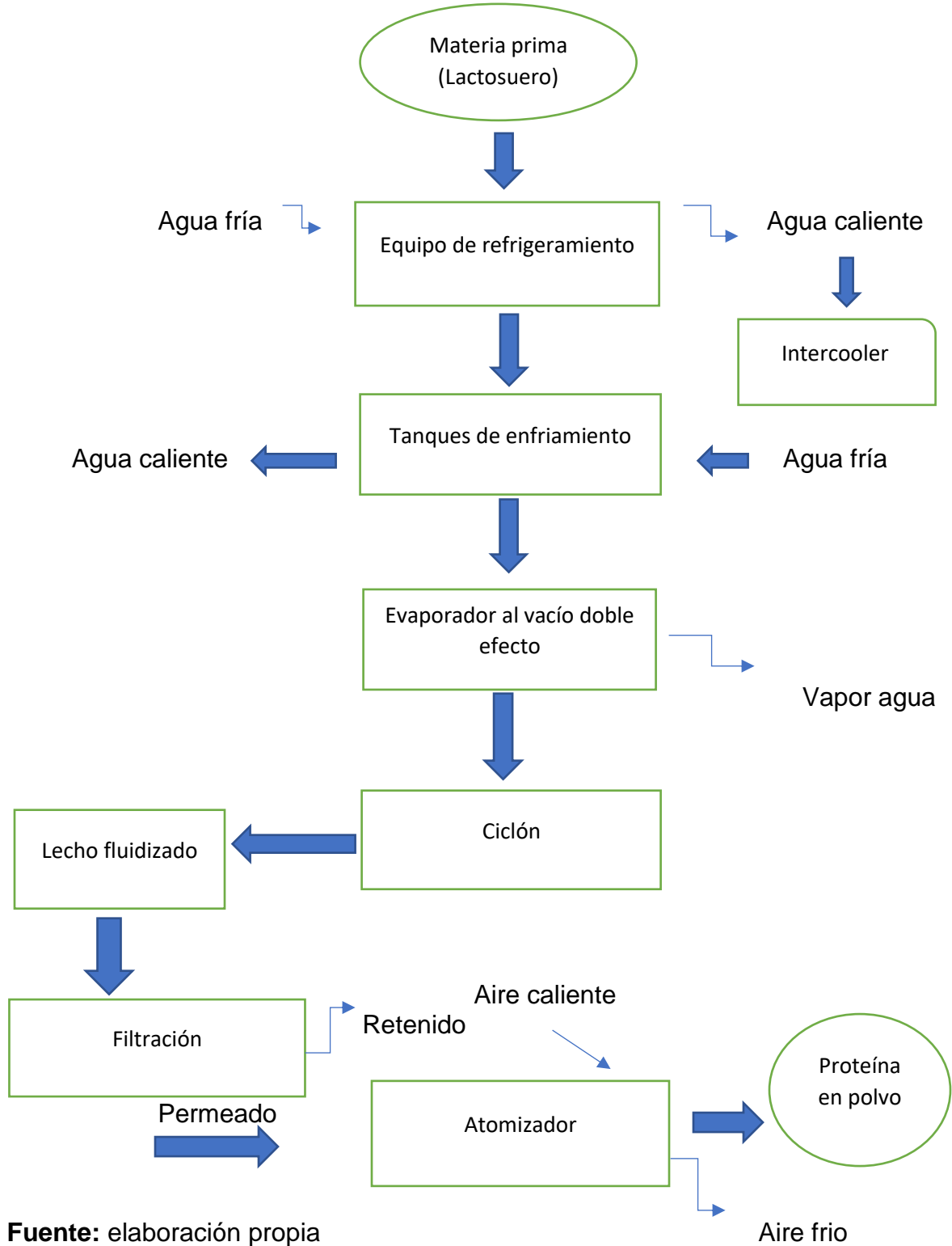
**Cuadro 8. Estrategias sobre control del proceso**

| Operación unitaria   | Estrategias de control   | Eliminación tiempos de reacción | Control de temperatura | Control de pH | Estrategia de control a usar  |
|----------------------|--|---------------------------------|------------------------|---------------|---|
| Evaporación al vacío | Control por cascada<br>Control anticipativo<br>Control por razón | 5                               | 5                      | 4             | Se usará estrategia de control por cascada ya que permite un mejor control de temperatura en el proceso de evaporación  |
|                      |  | 3                               | 2                      | 3             |   |
|                      |  | 1                               | 1                      | 3             |   |
| Filtración           | Control por cascada<br>Control anticipativo                      | 1                               | 2                      | 2             | Se usará estrategia de control por control anticipativo ya que permite manipular las variables como presión y temperatura antes de entrar a la corriente de alimentación. |
|                      |  | 5                               | 4                      | 5             |   |
|                      |  | 3                               | 2                      | 2             |   |

**Fuente:** elaboración propia

### 3.5 BALANCE DE MASA Y ANALISIS TERMODINAMICO DE PLANTA-PILOTO

#### 3.5.1 Diagrama del proceso planta-piloto.

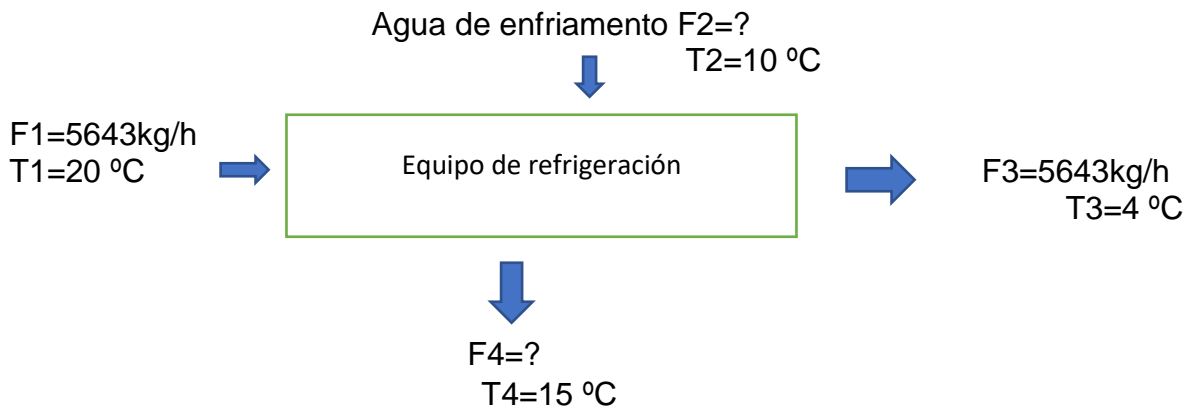


### 3.5.2 Equipo de refrigeración.

Taza de producción: 2500L/h = F1

Considerando la densidad del lactosuero como (1.026kg/m<sup>3</sup>)= 5643kg/h

Estableciendo las condiciones de inicio:



#### Balance de masa

$$F1 = F3 = F_{\text{lactosuero}}$$
$$F2 = F4 = F_{h20}$$

#### Balance de energía

$$-Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{absorbido}}$$

#### Calor cedido por el lactosuero

##### Ecuación 4. Calor cedido por el lactosuero

$$Q_{\text{cedido}} = 5643 \text{ kg/h} \left( \frac{4.061 \text{ kg}}{\text{kg}} \right) \times (4^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = \left( - \frac{3666,59 \text{ kJ}}{\text{h}} \right)$$

#### Flujo de agua requerido para el enfriamiento.

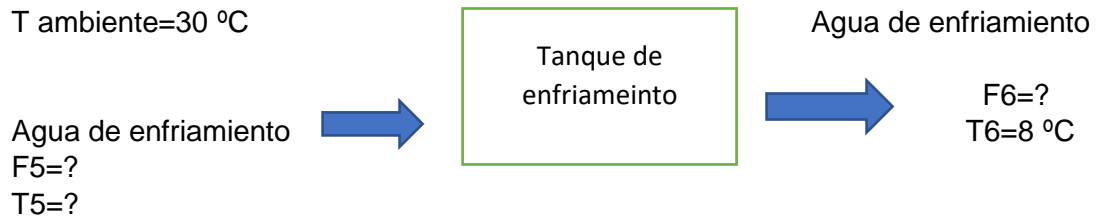
##### Ecuación 5. Flujo de agua requerido para el enfriamiento

$$F_{h20} = (Q_{\text{absorbido}}) / (C_{ph20})(T4 - T2)$$

$$Fh_{20} = \frac{-3666.59}{\left(\frac{4,2Kj}{Kg^{\circ}C}\right)(10^{\circ}C)} = \frac{873014,16kg}{h} = F2 = F4$$

F2 es el flujo máximo de agua

### 3.5.3 Tanques de enfriamiento.



Se considera un coeficiente global de calor de  $U=4,01KJ/cm^2/h$  determinando los materiales de aislamiento para mantener el lactosuero dentro de una temperatura estable.

#### Calor absorbido por el lactosuero refrigerado

**Ecuación 6.** Calor absorbido por el lactosuero refrigerado

$$Q_{absorbido} = \frac{4,01kj/cm2h}{(138m2)(30^{\circ}C-4^{\circ}C)} = 14387,88Kj/h$$

#### Flujo de agua necesario.

**Ecuación 7.** Flujo de agua necesario

$$Fh_{20} = \frac{Q_{absorbido}}{(C_{ph20})(T6-T5)} = \frac{\frac{14387,88Kj}{h}}{\left(\frac{4,2kj}{kgc}\right)(8^{\circ}C)} = F6 = F5 = 428,21kg/h$$

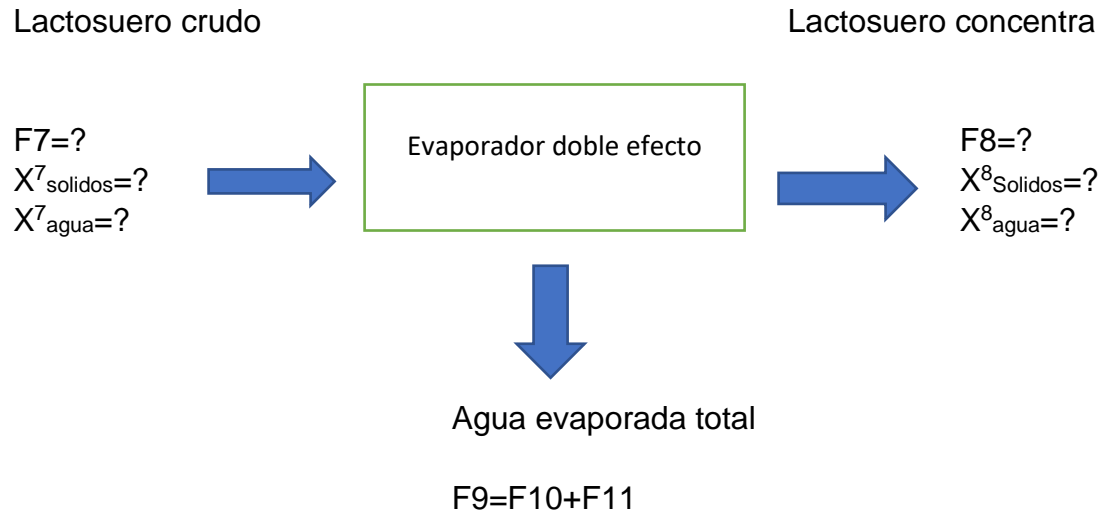
#### Cantidad de lactosuero almacenada por día

**Ecuación 8.** Cantidad de lactosuero almacenada por día

$$5643kgh \left(\frac{5h}{dia}\right) = 28215kg/dia \text{ Ec 10.}$$

**3.5.4 Evaporador al vacío doble efecto.** Según las especificaciones dadas y basados en datos experimentales se muestra la capacidad de evaporación de cada etapa en cuanto a un evaporador al vacío doble efecto:

Capacidad de evaporación =66% 1er efecto, 34% 2do efecto.



**Relación adicional:**

$$0,66 * F9 = F10$$

$$0,34 * F9 = F11$$

$$F7 = 5643 \text{ kg/h}$$

$$X_{\text{agua}}^7 = 0,93$$

$$X_{\text{solidos}}^7 = 0,07$$

**Balance global de masa del evaporador al vacío**

$$F7 = F8 + F9$$

**Balance de masa de solidos**

$$F7 * X_{\text{solidos}}^7 = F8 * X_{\text{solidos}}^8$$

$$X_{\text{solidos}}^8 = 0,30 \text{ Concentración de solidos después de la etapa de evaporización}$$

$$F8 = 1317 \text{ kg/h}$$

$$F9 = 4326 \text{ kg/h Agua evaporada total}$$

Se tiene en cuenta que la cantidad de agua evaporada la cual es 4326kg/h se puede reutilizar como corriente de recirculación para procesos como fluido de calentamiento en la etapa de precalentamiento del lactosuero, esto como corriente de recirculación permite que los costos energéticos sean menores, que se reduzcan los desechos residuales y al precalentar el lactosuero se ahorraría energía para la etapa de evaporación al vacío reduciendo el tiempo de evaporación del lactosuero.

También se puede reutilizar para lavado de tanques y tareas varias.

### Relación adicional

$$0,66 * \frac{4326kg}{h} = F10 = 2855,16kg/h$$

$$0,34 * \frac{4326kg}{h} = F11 = 1470,84kg/h$$

### Balance de masa 1er efecto

$$F7 = F10 + F12$$

$$F12=2788kg/h$$

$$F7 * X_{solidos}^7 = F12 * X_{solidos}^{12}$$

$$X_{solidos}^{12} = 0,1416$$

$$X_{agua}^{12} = 0,8583$$

### Balance de energía del 1er efecto

Cp Lactosuero de búfalo = 4,061Kj/Kg ° C  
Hvapor saturado (164,2°C / 7 kg/cm2 ) = 2761 kJ/kg  
Hlíquido saturado (164,2°C / 7 kg/cm2 ) = 693 kJ/kg  
λvaporización (70°C) = 2330 kJ/kg  
Temperatura de ebullición = 70°C  
Temperatura de referencia = 0°C

### Balance de energía del primer efecto

$$\sum F_{ENTRADA} * H_{ENTRADA} = \sum F_{SALIDA} * H_{SALIDA}$$

$$F12 * Cp * \Delta T + V3 * HVS = F13 * Cp * \Delta T + L3 * HLS + F15 * \lambda VAHOS$$

Despejando V3

**Ecuación 9.** Vapor de caldera necesario en el primer efecto

$$V3 = \frac{F12(Cp)(\Delta T) + F10(\lambda vap) - F7(Cp)(\Delta T)}{(Hvs - Hls)}$$

Remplazando los valores en la Ecuación 9; se obtiene:

$V3=2824,43\text{Kg vapor/hora}$  Vapor de caldera necesario

### **Balance de energía del 2do efecto**

$C_p$  Lactosuero de búfalo =  $4,061\text{Kj/Kg } ^\circ\text{C}$

Hvapor saturado ( $85^\circ\text{C}$ ) =  $2650\text{ kJ/kg}$

Hlíquido saturado ( $85^\circ\text{C}$ ) =  $357\text{ kJ/kg}$

$\lambda_{\text{vaporización}}$  ( $54^\circ\text{C}$ ) =  $2373\text{ kJ/kg}$

Temperatura de ebullición =  $54^\circ\text{C}$

Temperatura de referencia =  $0^\circ\text{C}$

### **Balance de energía del segundo efecto**

$$\sum F_{\text{ENTRADA}} * H_{\text{ENTRADA}} = \sum F_{\text{SALIDA}} * H_{\text{SALIDA}}$$
$$(F12) (C_p) (\Delta T) + V5 (H_{\text{Vapor}}) = (F8)(C_p)(\Delta T) + (L5) (H_{\text{Líquido}}) + F11 * \lambda_{\text{vap}}$$

**Ecuación 10.** Vapor de la caldera necesario en el segundo efecto

$$V5 = \frac{F8(C_p)(\Delta T) + F11(\lambda_{\text{vap}}) - F12(C_p)(\Delta T)}{(H_{\text{vs}} - H_{\text{ls}})}$$

Remplazando los valores en la Ecuación 11; se obtiene:

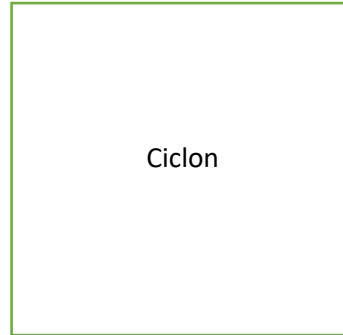
$V5=1381,47\text{ Kg de vapor/ hora}$

Luego de realizar estos cálculos se puede destacar el beneficio que implica utilizar el vapor recomprimido excedente del primer efecto, en el mismo efecto, ya que, se disminuye el requerimiento de vapor de caldera aproximadamente en un 45%.

### 3.5.5 Ciclón.

Lactosuero concentrado

$F_8 = 1317 \text{ kg/h}$   
 $X_{\text{grasa}}^8 = 0,70$   
 $X_{\text{impurezas}}^8 = 0,0009$   
 $X_{\text{agua}}^8 = 0,20$   
 $X_{\text{otros}}^8 = 0,0991$



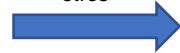
Lactosuero desmineralizado

$F_{13} = ?$   
 $X_{\text{Grasas}}^{13} = ?$   
 $X_{\text{otros}}^{13} = ?$   
 $X_{\text{agua}}^{13} = ?$



Impurezas  
 $F_{15} = ?$

$X_{\text{impurezas}}^{15} = 0,2$   
 $X_{\text{Grasa}}^{15} = ?$   
 $X_{\text{agua}}^{15} = ?$   
 $X_{\text{otros}}^{15} = ?$



Lactosuero concentrado

$X_{\text{Grasa}}^8 = 0,70$   
 $F_8 = F_{13} + F_{15}$

Balance de impurezas

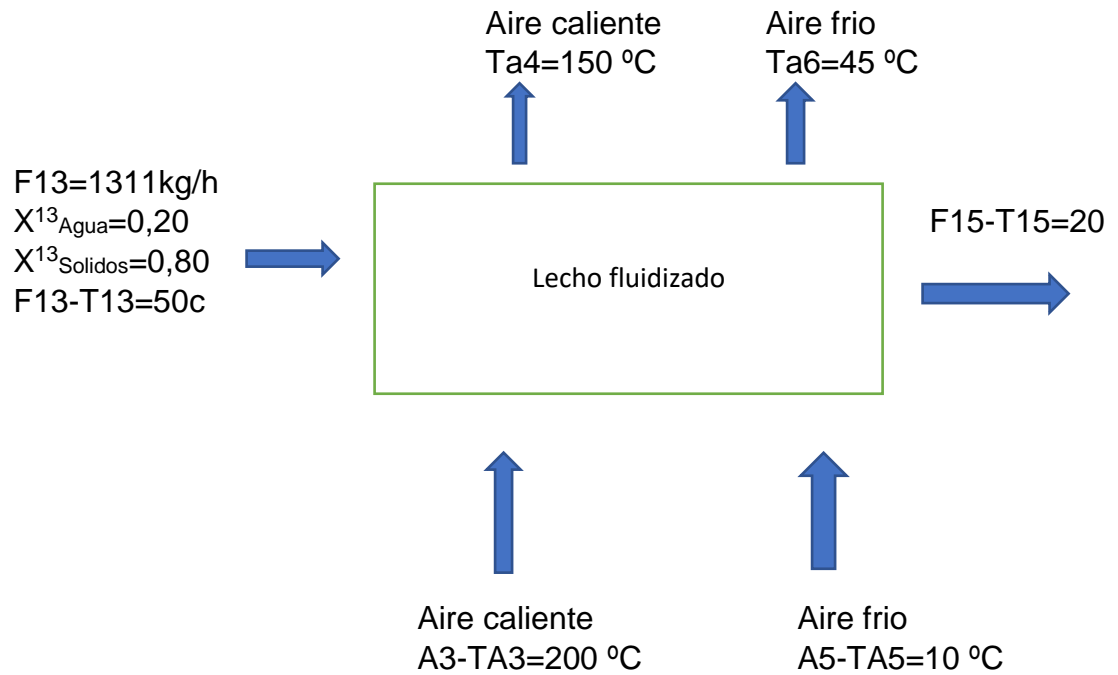
$F_8 \cdot X_{\text{impurezas}}^8 = F_{15} \cdot X_{\text{impurezas}}^{15}$   
 $F_{15} = 5,92 \text{ kg/h}$   
 $X_{\text{impurezas}}^{15} = 0,2$   
 $X_{\text{Grasa}}^{15} = 0,60$   
 $X_{\text{Agua}}^{15} = 0,10$   
 $X_{\text{Otros}}^{15} = 0,10$

Lactosuero desmineralizado

$F_{13} = F_8 - F_{15}$   
 $F_{13} = 1311 \text{ kg/h}$   
 $X_{\text{Grasas}}^{13} = 0,70$   
 $X_{\text{Otros}}^{13} = 0,10$   
 $X_{\text{Agua}}^{13} = 0,20$



### 3.5.6 Lecho fluidizado.



$X_{A3}=0,0119$ ;  $X_{\text{aire}}=0,9881$  (Tanto para aire caliente como el aire frio)

#### Balance de masa

$$F13=1311\text{Kg/h}$$

Balance de masa de solidos

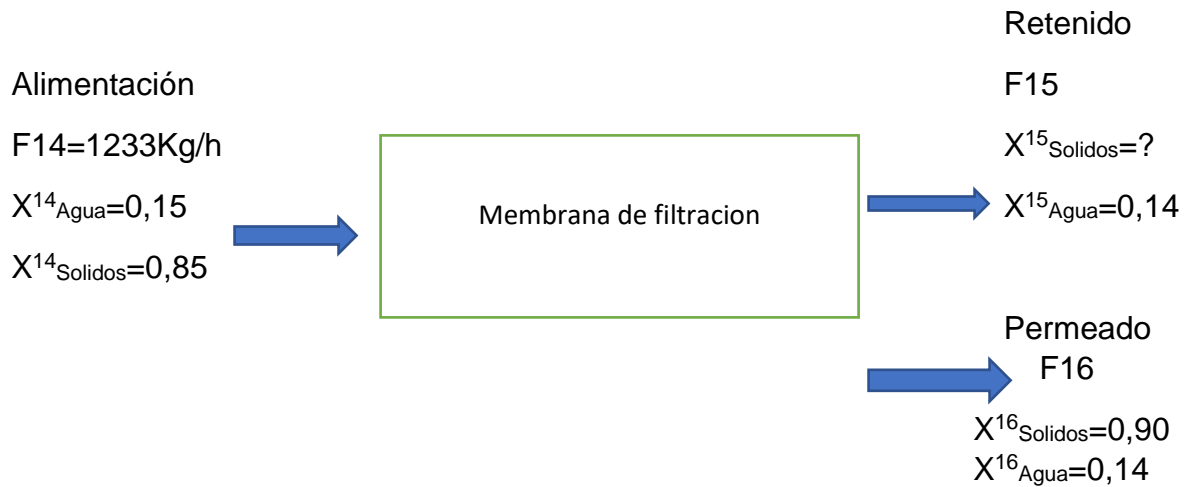
$$F13 \cdot X^{13}_{\text{Solidos}} = F14 \cdot X^{14}_{\text{Solidos}}$$

$$X^{14}_{\text{Solidos}} = 0,85 \text{ (Producto del secado y deshidratado del lactosuero)}$$

$$F14 = 1233\text{kg/h (15\% de humedad)}$$

$$X^{14}_{\text{agua}} = 0,15$$

### 3.5.7 Filtración.



#### Balance de masa

$$F_{14} = F_{15} + F_{16}$$

#### Balance de solidos

$$F_{14} \cdot X_{14}^{\text{Solidos}} = F_{16} \cdot X_{16}^{\text{Solidos}}$$

$$F_{16} = 1164,5\text{kg/h}$$

$$F_{15} = 68,5\text{kg/h}$$

$$X_{15}^{\text{Solidos}} = 0,86$$

#### Coefficiente de rechazo

##### Ecuación 11. Coeficiente de rechazo

$$R = 1 - C_p / C_a$$

$$R = 1 - \frac{0,90}{0,85} = 0,95$$

Donde:

R coeficiente de rechazo

$C_p$  es la concentración del soluto en la corriente del permeado

$C_a$  concentración de soluto en la corriente de alimento

La membrana de filtración tiene una selectividad de 0,90 admitiendo que tiene gran afinidad al producto a tratar el cual es el lactosuero de búfala.

**3.5.8 Especificación de diseño del área de filtrado.** El comportamiento de los procesos de separación por membranas se evalúa en términos de productividad y eficacia de la separación. La productividad o velocidad de permeación a través de membranas se determina a partir del flux:

:

**Ecuación 12.** Flux sobre área de filtrado

$$J = Q/Amem$$

**Donde:**

Q es el caudal del permeado

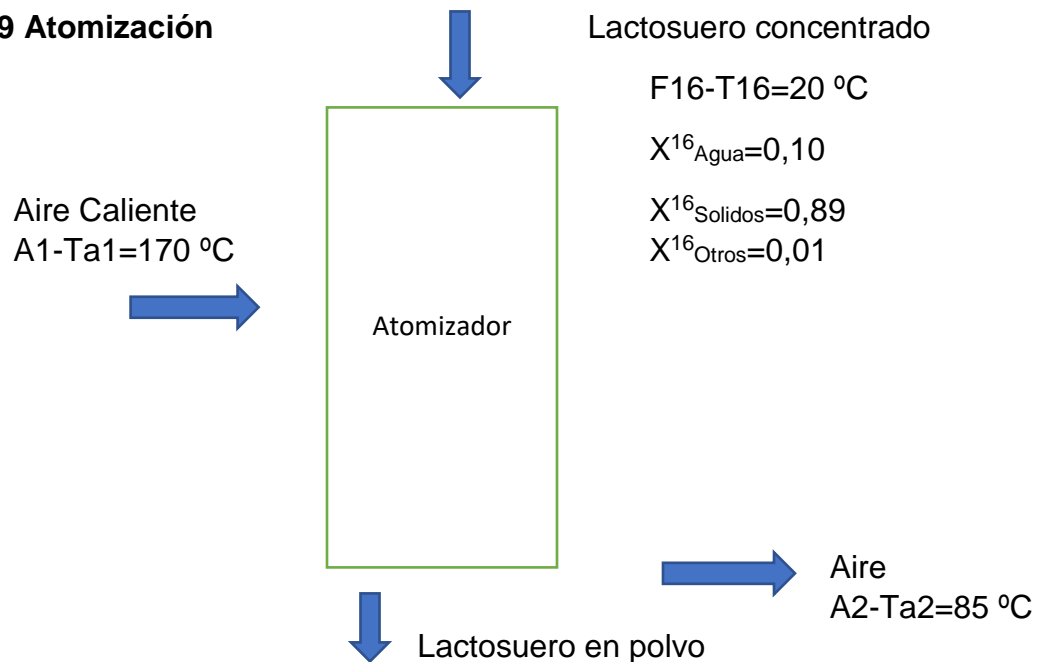
Amem es el área de la membrana

Obteniendo un área de membrana según las especificaciones de diseño se obtiene un área de 6000m<sup>2</sup> para que le coeficiente de retención sea cercano a 0 y obtener una mejor eficiencia de filtrado.

$$J = \frac{1164,5kg}{\frac{h}{6000m^2}} = 0,19 = 19\%$$

El flujo de permeado y la tasa de retención son dos de los parámetros más importantes en términos económicos de este proceso (Lin y Chen 1990)<sup>16</sup>.

### 3.5.9 Atomización



Se tiene en cuenta que según los cálculos el producto final saldrá con un 5% de humedad y a la entrada del lactosuero concentrado se tendrá una humedad relativa del 11%.

La humedad del aire a la entrada de la cámara de secado será igual a la humedad del aire en el ambiente del lugar donde se instalará la planta, ya que se produce calentamiento sensible. A una temperatura ambiente media de 20°C y con una humedad relativa de 80%, el aire presenta 0,012 kg de agua/kg de aire seco.

$$X^{A1}_{\text{Agua}}=0,012/(1+0,012)$$

$$X^{a1}_{\text{Agua}}=0,0119$$

$$X^{a1}_{\text{Aire seco}}=0,9881$$

### Balance de masa

Lactosuero concentrado ( $F_{16}=1164,5\text{kg/h}$ )

### Balance de masa de solidos

$$F_{16} \cdot X^{16}_{\text{Solidos}} = F_{17} \cdot X^{17}_{\text{Solidos}}$$

$$F_{17} = 1090\text{kg/h (Cantidad de polvo de proteína producido)}$$

Cantidad de agua evaporada

$$F_{16} - F_{17} = F_{ae} = 74,5\text{kg/h}$$

### Balance de masa de aire seco

$$A^1 \cdot X^{a1}_{\text{Aire seco}} = A^2 \cdot X^{a2}_{\text{Aire seco}}$$

$$A^1 \cdot 0,9881 = A^2 \cdot (1 - X^{a2}_{\text{Agua}})$$

$$(A^2 - 74,5\text{kg/h}) \cdot 0,9881 = A^2 \cdot (1 - X^{a2}_{\text{Agua}})$$

$$73,61\text{kg/h} = -0,0119 \cdot A^2 + A^2 \cdot X^{a2}_{\text{Agua}}$$

**3.6 Propiedades técnicas de la planta.** En cuanto a la planta se tendrá en cuenta el área de trabajo con sus debidas normas de seguridad y salud en el trabajo. Un departamento de desarrollo I+D el cual investiga las últimas tendencias en cuanto a fórmulas químicas y nutricionales para innovar en la proteína en polvo de suero en leche.

La planta de producción tendría una localización en Cordoba -Monteria; sector escogido por los índices de producción de leche de búfala a nivel nacional.

**3.6.1 Selección de tipo de evaporador al vacío.** En cuanto a los procesos productivos de la proteína en polvo; el proceso de evaporación llevaría evaporadores de tipo (DSI) por medio de inyección directa ayudando a que los impactos de temperatura sean menores y así evitar desnaturalizar los aminoácidos esenciales del lactosuero.

La siguiente matriz será evaluada con puntuación de (1-5) donde 1 es poca afinidad al proceso y 5 es la mejor afinidad al mismo. (Ver cuadro 9)

**Cuadro 9.** Matriz de selección de evaporadores al vacío.

| Tipos de evaporadores | Características |                        |   | Total |
|-----------------------|-----------------|------------------------|---|-------|
|                       | Temperatura     | Costo de mantenimiento | Afinidad a las características fisicoquímicas de lactosuero |       |

|   |   |   |   |    |
|---|---|---|---|----|
| Evaporador al vacío por bomba de calor.     | 3 | 4 | 3 | 10 |
| Evaporador por compresión mecánica de vapor | 4 | 3 | 3 | 10 |
| Evaporador de múltiple efecto               | 5 | 4 | 5 | 14 |

**Fuente:** elaboración propia

**3.6.2 Justificación de la selección en parámetros de tecnología en proceso evaporación al vacío.** El evaporador por película descendente en múltiple efecto sería el indicado, al tener un control de espuma generado por la caseína y demás proteínas. También se obtienen coeficientes de calor elevados, tiene buena capacidad para trabajar con fluidos termosensibles y su limpieza es rápida y sencilla, entre sus limitaciones esta que las temperaturas y presiones de trabajo son limitadas, pero al trabajar con presiones de vacío y temperaturas que no sobrepasen los 70°C se elimina el proceso de sobrecalentamiento en las juntas enfatizando en la resistencia de estas.

Otra ventaja que tiene con respecto a los evaporadores de tubo largo vertical es que no se necesita una recirculación adicional y no hay problema al trabajar con sustancias con alta salinidad; salinidad que contiene el lactosuero por sus altos contenidos en sodio.

**3.6.3 Selección de tipos de membrana para proceso de filtración.** El proceso de filtración uno de los más importantes durante el proceso de tiene en cuenta el tipo de membrana a trabajar ya que de aquí parte las diferentes variables de trabajo. se realizan en flujo cruzado donde se aplica presión de suero donde permite que los poros de la membrana no sean obstruidos.

Este proceso de filtración no produce cambios en el producto ya que no afecta la temperatura ni el pH.

**Cuadro 10.** Características de selección sobre los tipos de membranas de filtración

| Tipos de membranas    | Condiciones de operación   |
|-----------------------|--|
| Membranas celulósicas | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilidad a la temperatura (50°C) máxima temperatura de trabajo.</li> <li>• Deterioro químico (pH 3-8)</li> </ul>                          |
| Membranas Poliméricas | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioro químico (pH 2-12)</li> <li>• Temperaturas menores a los (80°C)</li> <li>• Tienen baja eficiencia a los agentes clorados.</li> </ul> |
| Membranas inorgánicas | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioro químico (pH 0-14)</li> <li>• Temperaturas máximas de 300°C</li> <li>• Presiones mayores a 1MPA.</li> </ul>                          |

**Fuente:** elaboración propia

**Cuadro 11.** Configuración de las membranas

| Configuración de las membranas         | Características  |
|--|--|
| Cartucho tubular de paredes permeables | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Membrana tubular abierta</li> <li>• Tubo con diámetro entre 1,2-2,5cm y longitudes de 3,66cm.</li> </ul>              |
| Fibras huecas                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cientos de tubos compactados en una fibra.</li> <li>• Configuración espiral por medio de acero inoxidable.</li> </ul> |

**Fuente:** Elaboración propia, con base en, CUELLAS. Configuración de membranas industriales para el procesamiento de alimentos. Disponible en: [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/sho/Procesos\\_de\\_Membrana.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/sho/Procesos_de_Membrana.pdf).

### 3.6.4 Justificación en la elección de tecnología en membranas de filtración.

Al tener en cuenta la configuración de los tipos de membrana y los materiales de construcción de esta misma (Cuadro 10) Se elegiría una membrana polimérica de polisulfonas optima al rango de temperaturas del lactosuero con una configuración en espiral con fibras huecas por medio de flujo cruzado, que aunque sea un poco más costoso el mantenimiento y la instalación, la calidad del producto va hacer mayor permitiendo la lactosa y grasas del lactosuero se retengan en mayor cantidad cerca de un 80%.

Uno de los obstáculos que hay que tener en cuenta al momento del filtrado es la relación entre el tamaño del poro y la dificultad de que la membrana sufrir taponamientos. Se suele manejar un tamaño de poro de 1 a 20mm. Se pueden presentar problemas de concentración excesiva de soluto de la superficie de los poros haciendo que estos se obstruyan y por consiguiente aumente la presión.

**3.6.5 Especificaciones del intercambiador de calor.** En cuanto a las especificaciones del intercambiador de calor hay que tener en cuenta que los intercambiadores de calor a contracorriente son los mejores en cuanto a transferencia de calor independiente a proceso a utilizar, ya que su media logarítmica es menor: esto permite que la transferencia global de calor sea mayor.

**Cuadro 12.** Tipos de intercambiadores de calor y elección

| Tipos de intercambiadores de calor | Características    |                        |   | Total |
|------------------------------------|--------------------|------------------------|---|-------|
|                                    | Presión de trabajo | Costo de mantenimiento | Afinidad a las características fisicoquímicas de lactosuero |       |

|  |   |   |   |    |
|--|---|---|---|----|
| Intercambiadores tubulares               | 4 | 3 | 3 | 10 |
| Intercambiadores peritubulares           | 4 | 4 | 1 | 9  |
| Intercambiadores anulares                | 3 | 2 | 2 | 7  |
| Intercambiadores de superficies rascadas | 3 | 3 | 2 | 8  |
| Intercambiadores de placas               | 5 | 5 | 4 | 14 |

**Fuente:** elaboración propia

Conociendo las condiciones de trabajo para el proceso de producción del lactosuero de búfala en polvo donde se trabajarán con temperaturas de máximo 70c de presiones bajas, a no tener solidos de gran tamaño la mejor opción para el proceso de producción es el intercambiador de placas donde tiene la gran ventaja de un coeficiente global de calor más grande en comparación con los intercambiadores de tipo tubulares.

Las incrustaciones que se presentan en un intercambiador de calor de placas son mucho menores que los otros tipos de intercambiador en cuanto a su factor de "Fauling", tomando en cuenta esto el costo de mantenimiento es menor y su facilidad de montaje y desmontaje es mucho más practica para la planta de producción.

**3.6.6 Características de las bombas y su elección.** Para tomar una decisión correcta en la selección de bombas y el por qué se esta decisión se hizo una comparación entre diferentes bombas teniendo en cuenta las características fisicoquímicas del lactosuero de búfala entre las cuales se tienen:

**Cuadro 13. Matriz de selección tipos de bombas en la industria alimenticia**

| Tipos de intercambiadores de calor            | Características    |                        |   | Total |
|---|--------------------|------------------------|---|-------|
|   | Presión de trabajo | Costo de mantenimiento | Afinidad a las características fisicoquímicas de lactosuero |       |
| Bombas neumáticas                             | 5                  | 5                      | 5   | 15    |
| Bombas por desplazamiento positivo rotatorias | 4                  | 3                      | 3   | 10    |
| Cavidad positiva                              | 3                  | 3                      | 3   | 9     |
| Peristálticas                                 | 4                  | 2                      | 4   | 10    |

**Fuente:** elaboración propia

Teniendo en cuenta el cuadro anterior se toma en cuenta que la mejor opción en cuanto al procesamiento de lactosuero seria la bomba sanitaria de cavidad positiva.

Bomba Lobular rotativa modelo, presión diferencial máxima de 12 bar, rango de temperaturas: -10 ° C a 120 ° C, caudal máximo de trabajo 160 m<sup>3</sup> /h y velocidad máxima 950 rpm. Potencia de consumo de 4 kW.



Las bombas centrifugas sanitarias son las más usadas para la industria láctea, fabricadas en acero inoxidable y carburo de silicio.

**3.6.6 Especificaciones y diseño de los materiales.** Todas las maquinarias del proceso industrial serán fabricadas por medio de acero inoxidable, las bombas centrifugas y rotativas también estarán fabricadas con elementos de silicio y carbono evitando la corrosión por resto de solidos totales y humedad del producto.

Si se evitan las concavaciones dentro de los equipos se evitan retenciones de los líquidos en las esquinas de los equipos impidiendo reacciones electroquímicas las cuales pueden originar corrosión galvánica por la diferencia de potenciales.

**Tabla 5. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304 SAE**

| Resistencia a la tracción |                     |     | Límite de fluencia |                     |     | Alargamiento en 2" (%) | Reducción de área (%) | Relación de maquinabilidad <sup>1212</sup> EF =100% | Dureza (HRB) |
|---------------------------|---------------------|-----|--------------------|---------------------|-----|------------------------|-----------------------|---|--------------|
| MPa                       | kgf/mm <sup>2</sup> | KSI | MPa                | kgf/mm <sup>2</sup> | KSI |                        |                       |   |              |
| 481                       | 49                  | 70  | 176                | 18                  | 26  | 40                     | 50                    | 45  | 92           |
| 510                       | 52                  | 74  | 206                | 21                  | 30  |                        |                       |   | -            |

**Fuente.** FERROCORTES. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304 SAE (2010)

Cerrando el capítulo anterior para realizar el escalamiento planta-piloto de tomaron datos reales de la situación actuales de producción de leche en el sector de Monteria-Cordoba analizando así que cerca de 177.000 litros de lactosuero de búfala se producen diariamente, por lo tanto se tomó la decisión de tomar 100.000 litros de materia prima como lactosuero de búfala, teniendo en cuenta los datos a escala laboratorio y realizando un escalamiento directamente relacionado con la capacidad máxima de producción y eligiendo un sistema de producción por lotes Bach de 5500L/h.

Teniendo en cuenta estos datos se realizó el balance de masa y energía de las diferentes operaciones unitarias vistas en el primer capítulo teniendo en cuenta las fracciones molares de solutos y solventes así como un balance de energía en cada operación que se requería para así obtener 1042kg de proteína concentrada en polvo aproximadamente lo que daría un total de 540 toneladas al mes; lo suficiente para satisfacer la demanda en Colombia en el sector de productos alimenticios teniendo en cuenta que cerca del 80% de agua que son cerca de 4300kg/h se utilizaran para corrientes de recirculación dentro de la planta optimizando el eficiencia del proceso y ahorrando costos energéticos usando la tecnología DSI propuesta para pre calentar los sistemas de calentamiento.

En base a esto se planteó el sistema de automatización para las principales operaciones dentro de la planta para monitorear y controlar el proceso y así elegir los mejores equipo según matrices de decisión donde teniendo en cuenta las características de cada equipo como mantenimiento, sistema de operación , factores físicos y químicos , tipo de materia prima se eligió la mejor alternativa con su adecuada justificación del proceso a desarrollar; así como los tipos de materiales a usar y los tipos de bombas siempre favoreciendo la vida útil de estos evitando problemas de transferencia de calor por incrustamientos de solutos obteniendo un coeficiente global de calor importante y evitando la corrosión de cada equipo como problemas por galvanización o picado entre las diferentes tuberías y esquinas de cada equipo, por lo cual se tomó que la mejor decisión era acero inoxidable 304 SAE, material muy utilizado en la industria de alimentos.

Finalizando se recreó el proceso en forma gráfica por medio del simulador ASPEN HYSYS sin el objetivo de que una convergencia y solo con el fin de mostrar gráficamente un plano a gran escala del proceso productivo de lactosuero de búfala según los anteriores 3 capítulos haciendo una similitud entre las operaciones unitarias de cada una, con sus respectivos nombres y funciones.

## 4. ANALISIS FINANCIERO

### 4.1 TABLA DE DISEÑO

En la siguiente tabla se mostrará los datos que se obtuvieron en el tercer capítulo; se recopilarán después de una elección justificada. Los costos vendrán en dólares para un mejor manejo de datos.

**Tabla 6.** Tabla de diseño

| <b>Etapas</b>        | <b>Equipos</b>   | <b>Costos Unitario</b> |
|----------------------|--|------------------------|
| Almacenamiento       | Tanques de recepción<br>(5)                                    | US\$7.000              |
| Evaporación          | Evaporador (película<br>descendente de<br>compresión mecánica) | US\$50.000             |
| Calentamiento        | Intercambiador de placas                                       | US\$1.200              |
| Centrifugación       | Centrifugadora industrial<br>(Tecnología Airlift)              | US\$32.000             |
| Filtrado             | Membranas poliméricas<br>(polisulfonas)                        | US\$7000               |
| Enfriamiento         | Intercooler (Acero<br>inoxidable)                              | US\$800                |
| Osmosis inversa      | Membranas poliméricas  | US\$7.000              |
| Bombas industriales  | Bombas sanitarias de<br>acero inoxidable                       | US\$2.000              |
| Secado por aspersión | Spray-Dryer  | US\$200.000            |

**Fuente:** elaboración propia

Al tener los costos de cada equipo de teniendo en cuenta la cantidad, el consumo de energía y el mantenimiento preventivo del mismo se tomarán en cuenta los flujos de caja.

### 4.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO

Teniendo en cuenta que se basa principalmente en la producción neta de lactosuero en polvo el proyecto va a contar con determinadas maquinas. La cantidad de ellas viene determinada según la cantidad y dimensionamiento de producción a escala que se planteó en el tercer objetivo.

Teniendo en cuenta esto se analizará la cantidad de cada equipo despreciando el costo de instalación, costos de tuberías, conexión y programaciones automatizadas.

En cuanto a la inversión se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

**Tabla 7.** Valor en los equipos industriales

| <b>Equipos</b>           | <b>Cantidad</b> | <b>Valor</b>       |
|--------------------------|-----------------|--------------------|
| Tanques de recepción     | de 5            | US\$35.000         |
| Evaporador               | 1               | US\$50.000         |
| Intercambiador de placas | de 8            | US\$9.600          |
| Centrifugadora           | 4               | US\$128.000        |
| Intercooler              | 8               | US\$6.400          |
| Equipo osmosis inversa   | 6               | US\$42.000         |
| Sistema de filtración    | 5               | US\$57.500         |
| Spray dryer              | 1               | US\$200.000        |
|                          | <b>Total</b>    | <b>US\$528.500</b> |

**Fuente:** elaboración propia

El total de cantidad de cada equipo se tomó en cuenta la capacidad de producción de cada uno teniendo en cuenta una producción de 400kg de polvo de proteína lo cual quiere decir que se tendrán 10.000L/h de lactosuero.

- Los tanques de recepción pueden almacenar 2500L.
- El evaporador trabaja a una taza de 50-30.000L/h
- La cantidad de intercambiadores de placas se evaluó según la cantidad de intercooler necesarios durante el proceso.
- La centrifuga industrial trabaja a una capacidad de 60 sets/mes
- Equipo de osmosis inversa tiene una capacidad de producción de 2000L/h.

De inversión en infraestructura se tiene estimados \$4.700.000 donde van incluidos la compra del predio, infraestructura, normas de seguridad e higiene, equipos de producción.

El costo de equipo cercanos a \$1.700 millones de pesos es muy similar a la inversión de la empresa Dibufala el cual invirtió cerca de \$1.500 millones de pesos en cuanto a los equipos de planta de producción.

### **4.3 INGRESOS**

Se tendrán en cuenta los ingresos como la venta de proteínas en polvo a varias sucursales y proveedores se estima que la unidad de proteína en polvo vendrá en presentaciones como: 3Lb, 5Lb, 15lb.

Se estima que para el año 1,2,3,4,5 se tendrán unas ventas menores a los años próximos mientras las personas conocen la marca y la calidad de esta.

Según la empresa y distribuidor Natural Helios se logran vender entre 400-500kg de proteína en polvo mensualmente por cada sucursal. Teniendo en cuenta se elegirán 3 tipos de mercados.

El 80% se la proteína en polvo se dirigirá a las industrias de alimentos en Colombia.

El 25% se exportará como materia prima.

El 5% se venderá para deportistas de alto rendimiento, usuarios de gimnasios en la región de Montería

1kg de proteína en polvo se venderá a US\$10; eso quiere decir:

2000 toneladas aproximadamente según la tasa de producción al año = US\$20.000.000 dólares durante los primeros 4 años.

Luego se pretende que después del 4to año la empresa aumentar sus ingresos cerca del 2%.

#### 4.4 PROYECCION

La empresa se tendrá en cuenta una proyección de 20 años.

#### 4.5 COSTOS

En este apartado se vendrán representados los costos de infraestructura, Equipos, Logística de transporte, Estudios de I+D (desarrollo e investigación). Estos se dividen en:

**Tabla 8.** Tipos de costos a nivel industrial

| <b>Costos variables</b>                             | <b>Costos Fijos</b>  | <b>Costos administrativos</b>       |
|---|--|-------------------------------------|
| Trabajo de envíos por parte del equipo de logística | Sueldos de los ingenieros, costo de investigación y desarrollo (proveedores de lactosuero y de los materiales de producción) | Costos de servicios y gastos varios |

**Fuente:** elaboración propia

Todos los costos irán aumentando un 1.7% a medida que pasa el año por los costos de impuestos y costo de vida.

Los costos variables relacionándose con los ingresos se estiman de 15%.

De lo siguiente se estiman cerca de US\$3.000.000 dólares durante el año.

En cuanto a los costos fijos la empresa se declara una empresa pequeña la cual tiene cerca de 150 trabajadores.

Estimando un salario promedio de US\$700 dólares por persona se tendrá unos costos fijos de US\$1.260.000 dólares al año.

#### **4.6 GASTOS**

En este apartado se tendrán en cuenta los costos de los salarios del personal, gastos en servicios, mantenimiento, costos extras donde irán incluidos (gastos varios); gastos de mercadeo.

En cuanto a los gastos también irá incluido un crédito el cual la empresa solicitó por US\$4.700.000 dólares. se realizarán abonos anuales de US\$400.000 dólares.

Se cuenta con una TIR del 21%

#### **4.7 DEPRECIACION**

En la depreciación se tendrá en cuenta durante el tiempo donde se relaciona el flujo de inversión con la proyección directa en años.

#### **4.8 COSTOS E IMPUESTO**

Alrededor de la tributación empresarial, como muchas otras verdades relacionadas con el pago de impuestos en Colombia, continúa habiendo una cierta nebulosa, toda vez que, según el informe 'Paying taxes 2018', del Banco Mundial y PricewaterhouseCoopers (PWC), la tasa total de impuestos y contribuciones que pagan las empresas en Colombia está en 69,8 por ciento: 22,2 por ciento recaen directo sobre las ganancias; 18,6 por ciento están ligados a impuestos laborales y 29 por ciento se pagan por otros impuestos <sup>11</sup>.

#### **4.9 COSTOS DE PRODUCCION**

Aquí estarán incluidos los costos tanto energéticos como los costos fijos que se mantienen como insumos y materiales.

Se estiman de gastos de mantenimiento preventivo US\$1.000.000 dólares anuales.

---

11. Redacción economía. De cada \$100, empresas gastan 15\$ en logística. [0]. "ago. 27;". [Consultado el "Mar 27;"2019]. Disponible en: <https://www.vanguardia.com/economia/nacional/de-cada-100-empresas-gastan-15-en-logistica-JCVL325149>.

**4.9.1 Procesos unitarios.** En cuanto a los procesos unitarios serán evaluados teniendo en cuenta los 3 anteriores capítulos, su mantenimiento preventivo y sus costos energéticos dados por la ficha técnica de cada equipo según la capacidad de producción.

**4.9.2 Costos energéticos.** Para evaluar los costos energéticos se tomarán en cuenta el gasto energético de cada equipo, así como el gasto energético en Kw/h en la región del Córdoba-Colombia. (\$440,8).

**Tabla 9.** Costos energéticos

| <b>Equipo</b>              | <b>Horas de trabajo (h)</b> | <b>Consumo energético (Kw/h)</b> | <b>Valor total (\$) (día)</b> |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Tanques de almacenamiento  | 24                          | -                                | -                             |
| Evaporador                 | 15                          | 10                               | 33,65                         |
| Centrifugador              | 15                          | 2                                | 8                             |
| Intercambiadores de placas | 15                          | 40                               | 134,61                        |
| Intercooler                | 15                          | 40                               | 134,61                        |
| Sistema de filtrado        | 15                          | 66                               | 222,11                        |
| Sistema de atomización     | 15                          | 60                               | 201,92                        |
| <b>TOTAL</b>               |                             |                                  | <b>US\$735</b>                |

**Fuente:** elaboración propia

En el costo energético se desprecian las bombas ya que la cantidad dependerá exclusivamente de la simulación precisa del proceso, las aproximaciones que se hicieron se tuvieron en cuenta los requerimientos mínimos de procesamiento, la cantidad de cada uno de los equipos, y el valor dado es una aproximación, puede variar los costos según el fabricante del equipo, por ende, no es un valor exacto y depende.

Este valor de  $735 \times 30 \times 12 = \text{US\$}264.600$  dólares en gastos energéticos incluido en costos administrativos.

$\text{US\$}264.600$  (costos energéticos) +  $\text{US\$}1.000.000$  (costos de mantenimiento) =  $\text{\$}1.264.000$  dólares (Costos administrativos).

**Tabla 11. Flujo de caja.**

Año 0- año 4

|                               | 0        | 1        | 2          | 3            | 4           |
|-------------------------------|----------|----------|------------|--------------|-------------|
| INGRESOS                      |          | 60000000 | 60000000   | 60000000     | 60000000    |
| COSTOS VARIABLES              |          | -9000000 | -9153000   | -9308601     | -9466847,22 |
| COSTOS FIJOS                  |          | -4700000 | -4779900   | -4861158,3   | -4943797,99 |
| COSTOS ADMINISTRATIVOS        |          | -1260000 | -1281420   | -1303204,14  | -1325358,61 |
| DEPRECIACION                  |          | -235000  | -235000    | -235000      | -235000     |
| UTILIDAD OPERACIONAL          |          | 44805000 | 44550680   | 44292036,56  | 44028996,2  |
| COSTOS FINANCIEROS            |          | -840000  | -756000    | -672000      | -588000     |
| UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS   |          | 43965000 | 43794680   | 43620036,56  | 43440996,2  |
| IMPUESTO (17%)                |          | -7616850 | -7573615,6 | -7529646,215 | -7484929,35 |
| UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS |          | 36348150 | 36221064,4 | 36090390,34  | 35956066,8  |
| MAS DEPRECIACION              |          | 235000   | 235000     | 235000       | 235000      |
| FLUJO OPERATIVO               |          | 36583150 | 36456064,4 | 36325390,34  | 36191066,8  |
| FLUJO DE INVERCION            | -4700000 |          |            |              |             |
| FLUJO PRESTAMO                | 4000000  | -400000  | -400000    | -400000      | -400000     |
| IMPUESTO DE VENTA             |          |          |            |              |             |
| FLUJO LIBRE                   | -700000  | 36183150 | 36056064,4 | 35925390,34  | 35791066,8  |

**Fuente:** elaboración propia

Años 5-9

|                               | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| INGRESOS                      | 61200000    | 62424000    | 63672480    | 64945929,6  | 66244848,2  |
| COSTOS VARIABLES              | -9627783,62 | -9791455,94 | -9957910,69 | -10127195,2 | -10299357,5 |
| COSTOS FIJOS                  | -5027842,56 | -5113315,88 | -5200242,25 | -5288646,37 | -5378553,36 |
| COSTOS ADMINISTRATIVOS        | -1347889,71 | -1370803,83 | -1394107,5  | -1417807,32 | -1441910,05 |
| DEPRECIACION                  | -235000     | -235000     | -235000     | -235000     | -235000     |
| UTILIDAD OPERACIONAL          | 44961484,1  | 45913424,35 | 46885219,6  | 47877280,7  | 48890027,3  |
| COSTOS FINANCIEROS            | -504000     | -420000     | -336000     | -252000     | -168000     |
| UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS   | 44457484,1  | 45493424,35 | 46549219,6  | 47625280,7  | 48722027,3  |
| IMPUESTO (17%)                | -7643452,3  | -7805282,14 | -7970487,33 | -8139137,72 | -8311304,64 |
| UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS | 36814031,8  | 37688142,21 | 38578732,2  | 39486143    | 40410722,7  |
| MAS DEPRECIACION              | 235000      | 235000      | 235000      | 235000      | 235000      |
| FLUJO OPERATIVO               | 37049031,8  | 37923142,21 | 38813732,2  | 39721143    | 40645722,7  |
| FLUJO DE INVERCION            |             |             |             |             |             |
| FLUJO PRESTAMO                | -400000     | -400000     | -400000     | -400000     | -400000     |
| IMPUESTO DE VENTA             |             |             |             |             |             |
| FLUJO LIBRE                   | 36649031,8  | 37523142,21 | 38413732,2  | 39321143    | 40245722,7  |

**Fuente:** elaboración propia



Años 10-14

|                               | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| INGRESOS                      |             |             |             |             |             |
| COSTOS VARIABLES              | 67569745,2  | 68921140,1  | 70299562,9  | 71705554,1  | 73139665,2  |
| COSTOS FIJOS                  | -10474446,6 | -10652512,2 | -10833604,9 | -11017776,2 | -11205078,3 |
| COSTOS ADMINISTRATIVOS        | -5469988,76 | -5562978,57 | -5657549,21 | -5753727,55 | -5851540,91 |
| DEPRECIACION                  | -1466422,52 | -1491351,7  | -1516704,68 | -1542488,66 | -1568710,97 |
| UTILIDAD OPERACIONAL          | -235000     | -235000     | -235000     | -235000     | -235000     |
| COSTOS FINANCIEROS            | 49923887,3  | 50979297,6  | 52056704,1  | 53156561,8  | 54279335    |
| UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS   | -84000      |             |             |             |             |
| IMPUESTO (17%)                | 49839887,3  | 50979297,6  | 52056704,1  | 53156561,8  | 54279335    |
| UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS | -8487060,84 | -8666480,6  | -8849639,7  | -9036615,5  | -9227486,95 |
| MAS DEPRECIACION              | 41352826,5  | 42312817    | 43207064,4  | 44119946,3  | 45051848    |
|                               | 235000      | 235000      | 235000      | 235000      | 235000      |
| FLUJO OPERATIVO               | 41587826,5  | 42547817    | 43442064,4  | 44354946,3  | 45286848    |
| FLUJO DE INVERCION            |             |             |             |             |             |
| FLUJO PRESTAMO                | -400000     |             |             |             |             |
| IMPUESTO DE VENTA             |             |             |             |             |             |
| FLUJO LIBRE                   | 41187826,5  | 42547817    | 43442064,4  | 44354946,3  | 45286848    |

Fuente:elaboracion propia

Años 15-20

|                               | 15          | 16          | 17          | 18          | 19          | 20          |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| INGRESOS                      | 74602458,5  | 76094507,7  | 77616397,8  | 79168725,8  | 80752100,3  | 82367142,3  |
| COSTOS VARIABLES              | -11395564,7 | -11589289,3 | -11786307,2 | -11986674,4 | -12190447,9 | -12397685,5 |
| COSTOS FIJOS                  | -5951017,11 | -6052184,4  | -6155071,53 | -6259707,75 | -6366122,78 | -6474346,87 |
| COSTOS ADMINISTRATIVOS        | -1595379,05 | -1622500,5  | -1650083,01 | -1678134,42 | -1706662,7  | -1735675,97 |
| DEPRECIACION                  | -235000     | -235000     | -235000     | -235000     | -235000     | -235000     |
| UTILIDAD OPERACIONAL          | 55425497,7  | 56595533,5  | 57789936,1  | 59009209,2  | 60253866,9  | 61524434    |
| COSTOS FINANCIEROS            |             |             |             |             |             |             |
| UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS   | 55425497,7  | 56595533,5  | 57789936,1  | 59009209,2  | 60253866,9  | 61524434    |
| IMPUESTO (17%)                | -9422334,6  | -9621240,69 | -9824289,14 | -10031565,6 | -10243157,4 | -10459153,8 |
| UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS | 46003163,1  | 46974292,8  | 47965647    | 48977643,6  | 50010709,6  | 51065280,2  |
| MAS DEPRECIACION              | 235000      | 235000      | 235000      | 235000      | 235000      | 235000      |
| FLUJO OPERATIVO               | 46238163,1  | 47209292,8  | 48200647    | 49212643,6  | 50245709,6  | 51300280,2  |
| FLUJO DE INVERCION            |             |             |             |             |             |             |
| FLUJO PRESTAMO                |             |             |             |             |             |             |
| IMPUESTO DE VENTA             |             |             |             |             |             |             |
| FLUJO LIBRE                   | 46238163,1  | 47209292,8  | 48200647    | 49212643,6  | 50245709,6  | 51300280,2  |

Fuente:elaboracion propia

**Tabla 12. Amortización de préstamo.**

| CREDITO |         |           |        |             |
|---------|---------|-----------|--------|-------------|
| PERIODO | SALDO   | INTERESES | ABONO  | NUEVO SALDO |
| 1       | 4000000 | 840000    | 400000 | 3600000     |
| 2       | 3600000 | 756000    | 400000 | 3200000     |
| 3       | 3200000 | 672000    | 400000 | 2800000     |
| 4       | 2800000 | 588000    | 400000 | 2400000     |
| 5       | 2400000 | 504000    | 400000 | 2000000     |
| 6       | 2000000 | 420000    | 400000 | 1600000     |
| 7       | 1600000 | 336000    | 400000 | 1200000     |
| 8       | 1200000 | 252000    | 400000 | 800000      |
| 9       | 800000  | 168000    | 400000 | 400000      |
| 10      | 400000  | 84000     | 400000 | 0           |

**Fuente:** elaboración propia

#### 4. CONCLUSIONES

- Se evaluaron las generalidades en Colombia de la situación actual del lactosuero, como importaciones y exportaciones de este mismo y los mercados en desarrollo, creando una generalización del lactosuero y la problemática y la situación actual de este residuo industrial, el cual afecta ecológicamente al medio ambiente aumentando la concentración de nitrógeno en mares, ríos, quebradas. También se analizaron las diferentes tecnologías para el aprovechamiento del lactosuero las cuales se eligieron: evaporación al vacío, secado por lecho fluidizado, centrifugación analítica filtrado por vía atmosférica y filtrado al vacío y secado por aspersión.
- La materia prima seleccionada y caracterizada fue el lactosuero de Búfala (*Buvalis Bubalus*) obteniendo como resultado polvo de proteína concentrada obteniendo como humedad final 6.2% frente al valor teórico de 5% el cual según la norma de sanidad debería tener el tipo de lactosuero dulce; además, se determinó el porcentaje de error el cual fue de 34% y un pH de 6,2 siendo valores cercanos al pH promedio de proteína de lactosuero de Búfala. De 1.5L de lactosuero concentrado se obtuvo 227.5g de proteína en polvo.
- Se realizó una proyección de la planta a escala-piloto tomando como referencia los resultados obtenidos en el laboratorio, así como la demanda de lactosuero según la región de Córdoba, en el cual se procesan diariamente 177.000L de lactosuero de búfala. Con base a esto se generó una metodología donde se procesarán 30.000L diarios en lotes batch de 2500L/h en un turno de producción de 10h. También se elaboró un diagrama general de la planta de producción para realizar el balance de masa y energía, donde del proceso de evaporación se obtienen 1995kg/h de agua caliente la cual será utilizada como corriente de recirculación para el precalentamiento de los equipos, obteniendo de 2665Kg/h de lactosuero cerca de 500kg de polvo de proteína concentrada, obteniendo cerca de 6 toneladas diarias y 180 Toneladas mensualmente. También se elaboraron matrices de decisión para cada equipo teniendo así en cuenta cual se ajustaba mejor a las condiciones de proceso de lactosuero como un evaporador de múltiple efecto, proceso de centrifugación, proceso por secado de lecho fluidización, intercambiadores de placas, bombas sanitarias en acero inoxidable, membranas tipo poliméricas sulfonadas para los procesos de filtración.

- Se evaluó a partir de los resultados del planteamiento escala-piloto el análisis financiero incluyendo ingresos, costos variables, costos fijos, costos financieros donde se analizó desde la parte de costo energéticos hasta los costos en la parte de logística, Analizando que de las 180 toneladas en 60% se venderán a industrias de alimentos el 25% se usará para exportación y el 5% será dirigido a deportistas de alto rendimiento. Los ingresos se acercan a los US\$20.000.000, Los costos administrativos se estiman de US\$1.260.000, la inversión de la planta se estima de US\$4.700.000, los costos variables de US\$3.000.000 , los sueldos de los 150 trabajadores se estima cerca de US\$1.300.000 En base a los costos de cada equipo, los ingresos por ventas, los impuestos, se realizó una tabla de amortización la cual incluída un crédito para la inversión y se realizó un flujo de caja donde se toman en cuenta todos estos aspectos a nivel global. En cuanto al flujo de caja se puede notar que la inversión de la planta se recupera en el año 4. Tiendo flujo de caja libres positivos donde en el año 10 se terminaría de pagar la deuda de inversión con el banco donde se realizan pagos de \$400.000 dólares anuales obtenido así una TIR del 23%, y un costo beneficio mayor a 1; lo cual quiere decir que el proyecto es viable obteniendo una depreciación de \$235.000 dólares

## 5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda en el proceso de extracción realizar el proceso de rotoevaporación a diferentes temperaturas para observar los cambios en los tiempos y en la extracción del soluto-solvente.
- También se recomienda realizar el proceso de atomización a diferentes temperaturas ya que esta influye en la concentración y calidad del lactosuero por ende también influye en la eficiencia de esta, así como un diferente caudal de alimentación y observar que propiedades aún persisten y cuales a ciertos rangos de temperatura ya se desnaturalizan.
- Se recomienda hacer un análisis de Kneldahl para determinar qué cantidad de nitrógeno tiene la muestra inicialmente y así compararla con el lactosuero de diferentes especies y crear un rango afinidad.
- Se recomienda contextualizar también a la región de los llanos orientales las cuales tiene el segundo índice como mayor producción de leche y cabezas de búfala y es un mercado que aun esta por explotar.
- Se recomienda realizar el proceso de centrifugación a varias velocidades (RPM) y a diferentes tiempos con el fin observar el impacto de calidad después de la filtración del proceso de extracción.
- Se recomienda realizar un estudio bromatológico al producto de proteína en polvo final para saber la cantidad de proteínas, carbohidratos, grasas contiene este y realizar una tabla nutricional de acuerdo a la cantidad escogida.
- Se recomienda elegir otra cantidad de lactosuero en la producción de proteína en polvo para saber qué factores cambian y que tasa de producción seria la óptima, al realizar un estudio de mercado.

## BIBLIOGRAFIA

1kodi. suero proteína en polvo en alta eficiencia GFG. [0]. [Consultado el "Mar 4,"2019]. Disponible en: <http://es.chinaspraydryer.com/whey-protein-powder-high-efficiency-gfg>

ALFONSO,Katherin. Lácteos de búfala conquistan el mercado internacional. [0]. " Ene 23;". [Consultado el "Abr 3; "2019]. Disponible en: <https://www.agronegocios.co/ganaderia/lacteos-de-bufala-conquistan-el-mercado-internacional-2623176>

BERMEO,Sebastian; Cadiz and Nadia Alejandra. Extrucción de proteínas de suero lácteo. UADE, 2015. p. 11-12.

CALDERON,Jose. Diseño de una planta piloto para la revalorización de lactosuero mediante tecnología de membranas. Universidad politécnica de valencia, 2016. p. 1-58.

CHACON,Alejandro. Tecnologías de las membranas en la agroindustria láctea. [0]:244-250

DANTE,Maugeri and IRIVARREN,Paula. Determinación de proteínas. [0]:2012.

EROSKI. Lactosuero, de residuo a&nbsp;aditivo alimentario. [0]. "Oct 15;". [Consultado el " Abr 1;"2019]. Disponible en: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/10/15/188582.php>

FERRARI and Ana. Como calcular la capacidad de producción. [0]. " Sep 30;". Disponible en: <https://www.cuidatudinero.com/13074185/como-calcular-la-capacidad-de-produccion>

GARCIA,Tomas. Proteínas. ".vol. 16, p. 1824; Disponible en: <http://www.revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/797>.

GIMENEZ,Jorgelina. Determinación de proteínas. [0]. " Jun 18;". Disponible en: <http://calidadbromatologica.blogspot.com/2010/06/determinacion-de-proteinas.html>

HUERTAS and RICARDO. LACTOSUERO: La importancia en la industria de alimentos. &nbsp; En: UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA. "Abr 16;".p. 1-16

IFI. Ventajas de la evaporación al vació. [0]. "Jul 15;". [Consultado el mar 4,2019]. Disponible en: <http://www.ifi.com.es/ventajas-de-la-evaporacion-al-vacio/>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio de normas para trabajos escritos.NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018.ISBN 9789588585673 153p.

MEDIO AMBIENTE Y PROCESOS INDUSTRIALES. Sistemas de monitoreo de caudal. [0]. [Consultado el "Dic 12,"2018]. Disponible en: <https://medioambienteypprocesosindustriales.com/sistemas-de-monitoreo-de-caudales-masicos-usados-durante-el-proceso-productivo/>

Métodos para el análisis de proteínas. [0]. [Consultado el "Feb 12,"2019]. Disponible en: <http://www4.ujaen.es/~esiles/TEMA3PROTEINASalumno.pdf>

MODLER. The use of whey as animal feed and fertilizer. Bulletin of the international Dairy Federation. vol. 212, p. 114-124

MOSQUERA, et al. Aprovechamiento del lactosuero y sus componentes como materia prima en la industria de alimentos. En: CIENCIA Y TECNOLOGIA ALIMENTARIA. " Abr 5;" p. 1-11

Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern." vol. 22, p. 366-383

NUTRITIENDA. Aislado de proteína de suero microfiltrada por flujo cruzado. [0]. "Ene 1,". [Consultado el Mar 2,2019]. Disponible en: <https://blog.nutritienda.com/aislado-de-proteina-de-suero-microfiltrada-por-flujo-cruzado/>

PEYRETTI,Sergio. Evaporadores para concentración de suero. [0]. "" [Consultado el "Feb 15."2019]. Disponible en: <http://www.elquesero.com/evaporadores-concentracion-suero.html>

Procesamiento del lactosuero. [0]. "Mar 20;". Disponible en: <http://publitec.com.ar/contenido/objetos/Procesamientodellactosuero.pdf>

Redaccion economia. De cada \$100 , empresas gastas 15\$ en logística. [0]. "Ago 27;". [Consultado el "Mar 27;"2019]. Disponible en: <https://www.vanguardia.com/economia/nacional/de-cada-100-empresas-gastan-15-en-logistica-JCVL325149>

TETRAPAK. Tetra Pak. [0]. "Ene 31;". [Consultado el "Ene 19;"2019]. Disponible en: <https://www.tetrapak.com/co/processing/evaporation>

Universidad de Oviedo. Cámaras de secado. [0]. [Consultado el "Feb 12,"2019]. Disponible en: [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/32386/7/TFM\\_EvaGuardiola.pdf3](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/32386/7/TFM_EvaGuardiola.pdf3)

# **ANEXOS**



## ANEXO A

### MATERIALES E INSTRUMENTOS USADOS PARA LA EXTRACCION DE PROTEINA EN POLVO.

| <b>Cantidad</b> | <b>Elemento</b>                    |
|-----------------|------------------------------------|
| 1               | Rotoevaporador                     |
| 1               | Bomba de vacío                     |
| 3               | Embudos                            |
| 7               | Papel filtro (150mm boeco germany) |
| 1               | Matraz Kitasato                    |
| 3               | Soportes metálicos                 |
| 1               | Centrifuga escala laboratorio      |
| 1               | Atomizador spray-dryer             |
| 4               | Vasos precipitados (500ml)         |
| 4               | Botellas de plástico               |
| 3               | Balones aforados                   |
| 1               | Balanza analítica                  |

## ANEXO B

### LECHE DE BUFALA DE ACUERDO CON SU RAZA

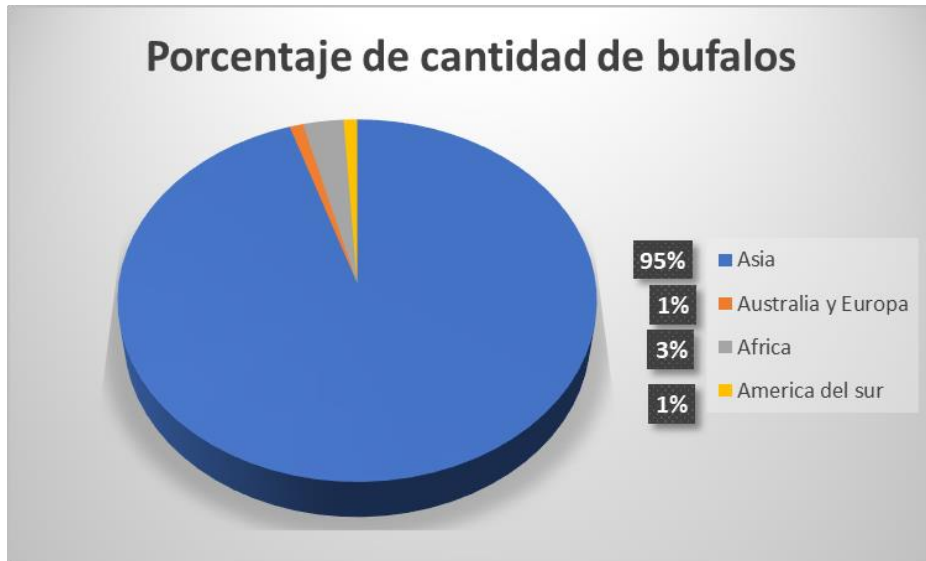
| <b>Especie</b>                           | <b>Solidos<br/>totales</b> | <b>Grasa</b> | <b>Proteína</b> | <b>Lactosa</b> |
|--|----------------------------|--------------|-----------------|----------------|
| Búfalo<br>( <i>Bubalus<br/>bubalus</i> ) | 17.96                      | 7.64         | 4.36            | 4.83           |
| Bovino<br>( <i>Bos Taurus</i> )          | 12.83                      | 3.90         | 3.47            | 4.75           |
| Cebú<br>( <i>Bos indicus</i> )           | 13.45                      | 4.97         | 3.18            | 4.59           |

## ANEXO C

### CONDICIONES DE MONITOREO PROCESO ROTOEVAPORACION

| <b>Horas</b> | <b>Temperatura ©</b> | <b>Velocidad de agitación<br/>(rpm)</b> |
|--------------|----------------------|---|
| <b>1</b>     | 42                   | 200                                     |
| <b>2</b>     | 45                   | 198                                     |
| <b>3</b>     | 44                   | 205                                     |
| <b>4</b>     | 43                   | 202                                     |

**ANEXO D**  
**CANTIDAD DE BUFALOS A NIVEL MUNDIAL**



## ANEXO E

### PROCESOS Y CARACTERISTICAS DE CADA ETAPA EN EL PROCESO DE EXTRACCION DE PROTEINA EN POLVO



## ANEXO F

### IMÁGENES DE LOS EQUIPOS DE LAS DIFERENTES OPERACIONES UNITARIAS ELEGIDAS EN EL PROCESO DE PRODUCCION

#### EVAPORADOR AL VACIO DOBLE EFECTO



#### CENTRIFUGACION INDUSTRIAL



## SECADO POR LECHO FLUIDIZADO



## SISTEMA DE FILTRACION CON MEMBRANAS POLIMERICAS



## ATOMIZACION CONICO INDUSTRIAL



## ATOMIZACION ESCALA LABORATORIO





## BOMBA SANITARIA DE ALIMENTOS EN ACERO INOXIDABLE



## TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LACTOSUERO



## PROCESO DE TAMIZACION CRIBA DE TAMIZADO PARA PRODUCTO FINAL EN POLVO



## ANEXOS G

### FICHAS TECNICAS DE LOS EQUIPOS USADOS EN LA EXTRACCION DE PROTEINA A ESCALA LABORATORIO

#### EVAPORADOR AL VACIO ROTOEVAPORADOR BUCHI R300



#### Ficha técnica

|                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| Peso                      | 19kg                 |
| Voltaje de operación      | 24v                  |
| Velocidad de rotación     | 2-210rpm             |
| Máximo rango de operación | 5-4000ml             |
| Control de temperatura    | 20-90 grados Celsius |

**CENTRIFUGADORA ANALITICA**  
**CENTRIFUGADORA ANALITICA 6 TUBOS CLAYS ADAM COMPACT II**



Ficha técnica.

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| Velocidad de rotación    | 0-5000rpm  |
| Fuente de alimentación   | 120V       |
| Consumo                  | 180W       |
| Tiempo de funcionamiento | 30 minutos |

## ATOMIZADOR

### MINI SECADOR POR ASPERCIÓN B-290 BUCHI



#### Ficha técnica

|                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| Peso                          | 45kg                    |
| Máxima Temperatura de entrada | 220 grados celsius      |
| Gas spray                     | 5-8bar                  |
| Flujo de aire                 | Max 35m <sup>3</sup> /h |