

Evaluación Técnica y Financiera Para una Planta Láctea en Guachucal, Nariño

José Armando Villa Galindres e Ivone Daniela Ramírez Barbosa

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Químico

Director

Maria Victoria Acevedo Estupiñán

Magister en Ciencias en Ingeniería Bioquímica

Codirector

Carlos Omar Parra Escudero

Magister en Ciencias en Ingeniería Bioquímica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

En primer lugar, le dedico este logro a Dios por permitirme da un paso más en mi vida, por brindarme fortaleza ante las adversidades y por permitirme sonreír ante todos mis logros.

A mi familia, en especial a mi madre Omaira Galindres y a mi hermana Tatiana Villa que tuvieron la paciencia para velar por mi bienestar durante mi vida universitaria, esto lo hago por ustedes y para ustedes.

A mi abuelo José Telmo Galindres, a mi abuela Luisa María Escobar que, aunque ya no esté en este mundo, sé que me cuida y me da mucha fortaleza para seguir mi día tras día.

A mis tíos, Ignacio, Lidia, Abelardo, Marcos, María, William, Polibio junto a mis primos, les agradezco por cada granito de arena que aportaron para mi formación profesional.

A cada uno de mis amigos que me ayudaron con sus palabras de aliento y que de una forma u otra me animaron para llegar donde estoy hoy.

José Armando Villa Galindres.

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por permitirnos encontrar este gran proyecto y permitirnos presentar el presente documento como requisito para obtener nuestro anhelado título.

A mis padres: Luis Alfredo Ramírez Suarez y Adriana Maria Barbosa Perdomo que me apoyaron y me dieron el impulso en todo momento, dieron su sacrificio y amor para culminar esta carrera y permitirme llegar hasta este punto para convertirnos en los futuros profesionales. Ha sido de nuestro completo orgullo ser hija de tan admirables personas.

A mis hermanos por acompañarme y animarme en este camino y servir siempre de ayuda en todo momento y ser promotores de la construcción de mi futuro a lo largo de mi vida y carrera profesional

Ivone Daniela Ramírez Barbosa.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestra gratitud reiterativa a Dios, a nuestros padres, hermanos y amigos que estuvieron presentes en nuestra vida y en este proceso.

Agradecemos a los docentes de la Universidad Industrial de Santander por formarnos con conocimientos sólidos y entregar su apoyo para hacernos grandes profesionales, en especial a nuestra directora Maria Victoria Acevedo Estupiñán por hacer esta tesis posible y guiarnos en cada paso de la construcción de este documento.

A la asociación de ganaderos ASOPIALPUD por incentivarnos a participar en el proyecto y darnos un apoyo incondicional para poder realizar la investigación.

De igual forma, agradecemos a nuestro amigo Juan Manuel Benitez Garay, quien nos apoyó y guio en la construcción de nuestra carrera.

Tabla de contenido

Introducción	12
1. Objetivos	14
1.1. Objetivo general	14
1.2. Objetivos específicos.....	14
2. Estado del arte.....	15
3. Metodología	18
3.1. Definición de los productos.....	18
3.2. Fase 1: Determinación de la localización y capacidad de la planta.	18
3.2.1. Capacidad instalada de la planta.....	18
3.2.2. Capacidad de producción por la línea de producto.....	19
3.2.3. Localización de la planta	20
3.3.1. Fase 2: Descripción de los procesos de producción.....	20
3.3.1. Revisión del marco legal	20
3.3.2. Diagramas de bloques de los procesos.	20
3.3.3. Simulación.	20
3.3.4. Balance de masa y energía.....	22
3.4. Fase 3: Especificaciones de los equipos.....	23
3.4.1. Determinación de las especificaciones técnicas.	23

3.4.2. Selección del mejor proveedor.	23
3.5.1. Fase 4: Determinación de costos.	23
3.5.1. Determinación de costos directos.	23
3.5.2. Determinación de costos indirectos.	24
3.5.3. Determinación de costos totales.	24
4. Resultados	25
4.1. Fase 1: Determinación de la localización y capacidad de la planta.	25
4.1.1. Capacidad instalada de la planta.....	25
4.1.2. Capacidad de producción por la línea de producto.....	25
4.1.3. Localización de la planta	26
4.2. Fase 2: Descripción de los procesos de producción.	27
4.2.1. Revisión del marco legal	27
4.2.2. Diagramas de bloques de los procesos.	28
4.2.3. Simulación.	33
4.2.4. Balance de masa y energía.....	34
4.3. Fase 3: Especificaciones de los equipos.....	38
4.3.1. Determinación de las especificaciones técnicas.	38
4.3.2. Selección del mejor proveedor.	40
4.4. Fase 4: Determinación de costos.....	43
4.4.1. Determinación de costos directos.....	43

4.4.2. Determinación de costos indirectos.....	44
4.4.3 Determinación de costos totales.	45
5. Conclusiones.....	47
6. Recomendaciones	48
Referencias Bibliográficas	49
Anexos.	54

Lista de tablas

Tabla 1. Litros de leche a procesar para suplirla demanda proyectada entre los años 2022 a 2032	18
Tabla 2. Componentes principales de leche.....	21
Tabla 3. Componentes de la leche con su respectivo homónimo para la simulación.	22
Tabla 4. Operaciones y cantidades de leche requerida por producto y porcentajes de distribución.	26
Tabla 5. Resultados de la simulación para el proceso de leche entera.	35
Tabla 6. Resultados de la simulación para el proceso de leche deslactosada.	36
Tabla 7. Resultados de la simulación para los procesos de los quesos doble crema y campesino.	37
Tabla 8. Resultados de la simulación para los procesos de adición de cuajo y cloruro de calcio.....	38
Tabla 9. Equipos y maquinaria requeridos por las etapas del proceso y las especificaciones mínimas para el flujo de leche.....	39
Tabla 10. Matriz de toma de decisiones para elección del mejor proveedor de equipos para los procesos de la leche y el queso.	40
Tabla 11. Consumo energético para los equipos de los procesos de producción de leche y queso.	42
Tabla 12. Especificaciones técnicas de los equipos para los procesos de producción según el proveedor seleccionado.....	42
Tabla 13. Costos directos de la leche deslactosada.....	43
Tabla 14. Costos directos del queso campesino y doble crema	43
Tabla 15. Costos indirectos de las líneas de producción.....	44
Tabla 16. Costos indirectos para cada línea de producto por litro de leche	44
Tabla 17. Costos totales de producción por cada línea de producto	45
Tabla 18. Costos totales por producto y categoría por año.	46

Lista de figuras

Figura 1. Localización de la planta.	27
Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de producción de leche Deslactosada.....	29
Figura 3. Diagrama de bloques del proceso de producción del queso campesino.....	31
Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de producción de queso doble crema.	32
Figura 5. Simulación para el proceso de leche entera.....	33
Figura 6. Simulación para el proceso de leche deslactosada.	33
Figura 7. Simulación para los procesos de los quesos doble crema y campesino.	34

Lista de apéndices

Apéndice 1. Descripción del proceso para elaborar leche deslactosada.	54
Apéndice 2. Descripción del proceso para elaborar queso campesino.	56
Apéndice 3. Descripción del proceso para elaborar queso doble crema.....	62
Apéndice 4. Diagrama de la metodología.....	54
Apéndice 5. Estudio de mercados.....	64
Apéndice 6. Simulación leche deslactosada.	64
Apéndice 7. Simulación leche entera.....	64
Apéndice 8. Simulación quesos	64

Resumen

Título: Evaluación técnica y Financiera para una planta láctea en guachucal, nariño*

Autor: Ivone Daniela Ramírez Barbosa, José Armando Villa Galindres **

Palabras Clave: Proceso, Lácteos, Queso, Leche, Diseño, Empresa, Producción, Nariño.

Descripción: Uno de los grandes problemas en Colombia es el aprovechamiento de los recursos agropecuarios. Específicamente con la leche, se termina perdiendo debido a que los productores no encuentran canales de procesamiento o comercialización estandarizados y constantes. Esto sucede con la asociación ASOPIALPUD del municipio de Guachucal, Nariño generando problemas económicos y sociales. El objetivo de este trabajo es realizar la evaluación técnica y de costos de producción para la creación de una empresa procesadora de leche y queso, en el municipio de Guachucal- Nariño. Para esto se plantearon cuatro fases. Primero se determinó la capacidad instalada de la planta y líneas de producción con base en el estudio de mercado desarrollado previamente los productos con mayor demanda son leche entera y deslactosada, queso doble crema y campesino. Segundo, se realizó el diseño de cada línea de producción teniendo en cuenta la normatividad vigente. Tercero se generaron las especificaciones de los equipos y finalmente se determinaron los costos de producción.

Entre los resultados obtenidos se encontró que la capacidad de procesamiento de la planta sería de aproximadamente 10.000 litros diarios distribuidos en 29.05% para la leche entera, 20.19% para la leche deslactosada, 25.89% para el queso campesino y 24.87% para el queso doble crema. Teniendo en cuenta el decreto 616 de 2016 que establece el reglamento técnico para los derivados lácteos, se puede plantear la descripción de cada uno de los productos. A su vez según los procesos descritos se deduce los equipos de procesamiento como tanques de almacenamiento, descremadora, homogeneizador, pasteurizador y empacadoras tanto de leche como de queso, estos deben ser en acero inoxidable con flujos mayores a 674 L/h y el proveedor recomendado es INOXPA por su localización, recorrido y precio. Finalmente, en los costos de producción se considera que es adecuado recomendar plantear un estudio financiero que profundice en los costos indirectos y de un valor más preciso a los valores de producción por línea. Dando finalmente cumplimiento a la evaluación técnica y de costos de producción para la elaboración de una empresa productora de leche y queso en Guachucal, Nariño.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Carlos Parra. Codirector Maria Estupiñan

Abstract

Title: Technical and financial evaluation for a dairy plant in Guachucal, Nariño*

Author: Ivone Daniela Ramírez Barbosa, José Armando Villa Galindres **

Key Words: Proceso, Lácteos, Queso, Leche, Diseño, Empresa, Producción, Nariño.

Description: One of the great problems in Colombia is the use of agricultural resources. Specifically with milk, it ends up being lost because producers do not find standardized and constant processing or marketing channels. This happens with the association ASOPIALPUD of the municipality of Guachucal, Nariño, generating economic and social problems. The objective of this work is to carry out the technical and production cost evaluation for the creation of a milk and cheese processing company, in the municipality of Guachucal-Nariño. For this, four phases were proposed. First, the installed capacity of the plant and production lines were determined based on the previously developed market study, the products with the highest demand are whole and lactose-free milk, double cream cheese and peasant. Second, the design of each production line was carried out taking into account the current regulations. Third, the specifications of the equipment were generated and finally the production costs were determined.

Among the results obtained, it was found that the processing capacity of the plant would be approximately 10,000 liters per day distributed in 29.05% for whole milk, 20.19% for lactose-free milk, 25.89% for peasant cheese and 24.87% for double cream cheese. Considering decree 616 of 2016 that establishes the technical regulation for dairy derivatives, the description of each of the products can be considered. In turn, according to the processes described before, the processing equipment such as storage tanks, skimmer, homogenizer, pasteurizer, and packers for both milk and cheese are deduced, these must be stainless steel with flows greater than 674 L/h and the recommended supplier is INOXPA for its location, route and price. Finally, in production costs, it is considered appropriate to recommend proposing a financial study that delves into indirect costs and gives a more precise value to the production values per line. Finally giving fulfillment to the technical evaluation and production costs for the elaboration of a milk and cheese production company in Guachucal, Nariño.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Carlos Parra. Codirector Maria Estupiñan

Introducción

De acuerdo con la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la leche y los derivados lácteos poseen un alto contenido de proteínas y grasas, características que los hacen un alimento recomendado para mejorar la nutrición de millones de personas en todo el mundo. Especialmente en la dieta de los niños, donde un vaso de 250 ml le aporta el 48,2% de las proteínas, 9,6% de calorías, y los suficientes micronutrientes para su adecuado crecimiento y desarrollo, afirmándolo como uno de los alimentos con mayor aporte nutricional [1].

En Colombia, la leche y los derivados lácteos no solo han sido de gran relevancia por su contenido nutritivo, sino también económicamente pues es uno de los sectores con mayor trascendencia para el producto interno bruto (PIB), actualmente representa el 2,3% nacional y el 24,3% del PIB agropecuario [2]. En el país la producción de leche se encuentra liderada por 22 departamentos, principalmente Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Nariño [3].

Nariño es un departamento con diferentes tipos de ecosistemas, lo que le permite tener un amplio desarrollo económico, la ganadería es una actividad de alta importancia para muchas personas ya que sus ingresos depende de esta, reportes de Agronet indican que para el año 2021 se produjeron 129 millones litros de leche [3], en donde, ciudades como Cumbal, Guachucal, Pupiales, Pasto e Ipiiales, aportan la mayor cantidad de leche [4]. Sin embargo, el ganadero se ha visto afectado por diversos problemas, los más relevantes, la importación y sobreoferta de productos sustitutos como leche en polvo [5], la sobre oferta de leche por temporadas donde los productores no tienen la capacidad de procesarla y la falta de políticas y gestión en el sector lácteo por parte del estado [6]. Debido a esto la asociación ASOIPALPUD ubicada en el municipio de Guachucal quiere procesar de manera independiente la materia prima producida para elaborar y

distribuir sus propios derivados como la leche y queso, ya que esta asociación se ve afectada por los problemas mencionados anteriormente, además de ayudar a esta comunidad indígena a generar mayores ingresos y generar emprendimiento en esta región.

Esta investigación se basará en el estudio de mercado de Villa & Ramírez (2022) [7], investigación que continúa en el presente trabajo para definir cuáles son los procesos y elementos técnicos que se requieren para la implementación de las líneas de producción de una planta de leche entera, deslactosada, queso doble crema y campesino en el municipio de Guachucal según las condiciones de la asociación ASOPIALPUD, según lo anterior ¿Qué requerimientos técnicos debe tener la planta para procesar la leche que proviene de la asociación para generar productos de valor?.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Realizar la evaluación técnica y de costos de producción para la creación de una empresa procesadora de leche y queso, en el municipio de Guachucal- Nariño.

1.2. Objetivos específicos

1.2.1. Determinar la capacidad instalada de la planta de producción de acuerdo con la demanda actual y su proyección a diez años.

1.2.2. Diseñar el proceso de producción de acuerdo con las especificaciones de los productos terminados y los balances de masa y energía.

1.2.3. Establecer las especificaciones de los equipos y maquinaria del proceso productivo.

1.2.4. Determinar el costo de producción de los productos de acuerdo con las especificaciones de la planta.

2. Estado del arte

La producción de lácteos en todo el mundo ha ayudado a impulsar la economía y a su vez a solucionar diversas problemáticas nutricionales, es por esto que hace parte de la alimentación de la gran mayoría de familias colombianas [8]. Sin embargo, la leche necesita un procesamiento que permita asegurar características fisicoquímicas establecidas bajo el Decreto 616 del 28 de febrero del 2006. Adicionalmente, se debe tener en cuenta el perfil microbiológico aceptado por la ley Colombiana, lo cual permite tener un producto de Calidad [9]. Varios trabajos se han enfocado en la calidad de la leche por ejemplo, se toma como base el trabajo de investigación acerca del diseño y dimensionamiento de una planta de leche en España, la cual especifica el diseño de una planta procesadora de 60.000 litros de leche semidesnatada al día y 30.000 litros de leche entera al día con porcentajes de grasa entre el 1,5% y 3,2% respectivamente [10]. Además, la calidad constituye una estrategia diferenciadora que permite aumentar la competitividad de la futura planta con respecto al mercado actual. Es importante definir buenas prácticas en cada una de las fases del proceso desde el ordeño hasta el tratamiento de desechos [11]. Estos factores deben enfocarse en las características de la leche y en realizar diferentes prácticas que permitan mejorarlas en cuanto a su contenido nutricional, siempre y cuando dichas prácticas se ajusten a las normativas estatales [12].

Una de las principales problemáticas en el sector lácteo en cuanto a calidad es la presencia de Aflatoxina M1 (AFM1), esta es una micotoxina nociva para la salud que genera enfermedades de alto riesgo como cáncer, poniendo en riesgo a niños y bebés ya que los productos lácteos están en su dieta de crecimiento [13]. En Etiopía se han establecido niveles máximos de AFM1 permitidos para la leche en 0,5 µg/L con el fin de disminuir los riesgos. En estudios pasados los niveles de esta toxina eran muy altos, varios superaban este valor, esta es una problemática que

preocupa puesto que no se ha visto reducción en la concentración de esta toxina [14]. Por lo tanto, es un factor por considerar durante el proceso de recepción de la leche.

Además de la calidad otros factores diferenciadores para una procesadora de lácteos pueden ser tecnología de punta, productos innovadores derivados de la leche o procedimientos que promuevan la sostenibilidad ambiental. Por ejemplo, la nanofiltración ha sido utilizada en industrias lácteas para eliminar el ion clorato que puede quedar remanente en equipos, instrumentos, materiales y/o materia prima debido a los procesos de limpieza y desinfección. Esta sustancia genera efectos adversos en la salud y [15]. Como ejemplo de productos innovadores, se puede mencionar la leche libre de colesterol. La β -ciclodextrina es una molécula que se produce a partir de almidón, la cual ayuda a eliminar el 98% del colesterol de la leche y sus derivados, además, no afecta sus propiedades nutricionales, ni sabor, lo que permite mitigar el riesgo de enfermedad cardiovascular por consumo excesivo de lácteos [16]. La leche también es un medio para producir otras sustancias, tal es el caso del ácido gamma-butírico, este se produce por medio de la fermentación de la leche, junto a bacterias lácticas, este ácido tiene efectos positivos en la salud como antihipertensivo, tranquilizante y/o antidepresivo [17].

Finalmente, en cuanto a la sostenibilidad ambiental, es importante mencionar que el sector lácteo es el responsable del 2,7% de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo [18]. Estas emisiones se producen principalmente debido a los procesos de calentamiento y enfriamiento los cuales demandan una gran cantidad de energía en forma de combustible, lo que ocasiona dichas emisiones de CO₂, por lo que se propone el uso de biocombustibles y a su vez energía solar y eólica con el propósito de diseñar un proceso sustentable [18] [19]. También, es posible disminuir la contaminación de agua en los lavados si la evaporación se realiza a una

temperatura de 95°C, ya que se puede disminuir la concentración de detergente en un 2% y por ende el agua residual de dichos lavados tiene un menor impacto en el medio ambiente [20].

Una problemática ambiental de este sector se deriva de las pérdidas constantes de leche cruda debido a que las grandes industrias no reciben en su totalidad toda la leche producida. Por lo tanto, esta acaba en fuentes hídricas contaminándolas debido a su acidez [21]. Es por esto la necesidad de contar con fábricas procesadoras de leche no es solo una necesidad económica sino también una necesidad ambiental y social [19].

3. Metodología

A continuación, se exponen las etapas que componen la metodología de la investigación para el estudio técnico y los costos de producción para el diseño de una planta de producción de leche y quesos en el municipio de Guachucal-Nariño, teniendo como base el diagrama del Anexo 1.

3.1. Definición de los productos

Para la definición de los productos a desarrollar por la planta se tomó como base el estudio de mercado de Villa & Ramírez (2022), realizado en el departamento de Nariño en los municipios de Guachucal, Ipiales, Pasto, Tumaco y Túquerres, donde se determina la preferencia de los residentes de dichos municipios para determinar los cuatro productos a producir por la planta: Leche deslactosada y entera, queso campesino y doble crema.

3.2. Fase 1: Determinación de la localización y capacidad de la planta.

3.2.1. Capacidad instalada de la planta

Para la determinación de la capacidad instalada de la planta se utilizó un método de proyecciones para el comportamiento de la demanda[5]. El cual parte de los valores de leche que se debe procesar entre los años 2022 a 2032 de acuerdo con la demanda registrados en la Tabla 1 tomados del estudio de mercados de Villa & Ramírez (2022).

Tabla 1.

Litros de leche a procesar para suplirla demanda proyectada entre los años 2022 a 2032

<i>Año</i>	<i>Consumo de leche [L/Hab]</i>	<i>Litros por año</i>
2022	160,3008	38'010.846,30
2023	162,5372	38'541.145,94
2024	164,7736	39'071.445,58
2025	167,01	39'601.745,22
2026	169,2464	40'132.044,86
2027	171,4828	40'662.344,50
2028	173,7198	41'192.644,14
2029	175,9556	41'722.943,78
2030	178,192	42'253.243,42

2031	180,4284	42'783.543,06
2032	182,6648	43'313.842,71

Nota. Tomada del estudio de mercado de Villa & Ramírez (2022),

Posteriormente, se realiza un promedio entre los valores y se emplea la Ecuación 1, con un rendimiento del 80% puesto que no es adecuado que la maquinaria de la planta trabaje al total de su capacidad por largos periodos de tiempo [22]

$$Capacidad = \frac{Promedio}{80\%} \quad (Ec. 1)$$

3.2.2. Capacidad de producción por la línea de producto

Una vez determinada la capacidad total de la planta se procedió a utilizar los porcentajes de participación y preferencia del producto también tomados del estudio de mercados de Villa & Ramírez (2022), para calcular la leche requerida por producto utilizando la Ecuación 2.

$$leche\ requerida = cantidad\ de\ leche * \% de\ preferencia \quad (Ec. 2)$$

Posteriormente con las cantidades de leche necesarias para suplir la demanda por producto, se procede a calcular el porcentaje de leche destinada por producto mediante la Ecuación 3.

$$\% leche\ destinada\ por\ producto = \frac{cantidad\ de\ \frac{litros}{mes}\ por\ producto}{cantidad\ de\ \frac{litros}{mes}\ totales} \quad (Ec. 3)$$

Finalmente, se determinó la cantidad de leche a procesar por producto de acuerdo con la capacidad mensual de la planta y los porcentajes de preferencia, aproximando el resultado del siguiente entero más cercano, utilizando la Ecuación 4.

Cantidad de leche a procesas por producto

$$= cantidad\ de\ leche\ a\ procesar\ mensualmente * \% de\ preferencia \quad (Ec. 4)$$

3.2.3. Localización de la planta

Calculada la capacidad a instalar para la planta se procedió a evaluar las posibles ubicaciones. Se tuvo en cuenta el acceso a los servicios industriales, las rutas de entrada y el acceso al tanque de almacenamiento de leche cruda de la asociación y los recursos disponibles de la asociación, finalmente se generó una vista superior de la localización y espacio que ocuparía la planta.

3.3.1. Fase 2: Descripción de los procesos de producción.

3.3.1. Revisión del marco legal

Para la primera parte de la descripción de los procesos de producción se realizó una revisión del marco legal en las páginas y documentos oficiales del estado colombiano y organizaciones relacionadas con la producción de alimentos como el Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Salud, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) y otros departamentos de función pública que abarcan los estándares de calidad y producción de productos lácteos.

3.3.2. Diagramas de bloques de los procesos.

Seguido a esto se definieron los diagramas de bloques de los procesos de producción por producto teniendo en cumplimiento la norma ISO 10628-2:2012 y utilizando como referencia los procedimientos revisados en fuentes de investigación como tesis de grado, libros y artículos científicos. En estos se visualiza de manera cronológica las diferentes etapas, entradas y salidas de los procesos para las líneas de producción de cada tipo de leche y queso.

3.3.3. Simulación.

Una vez descritos los procesos para cada producto se procedió a realizar las simulaciones de estos mediante el software Aspen PLUS® V.10 desarrollado por Aspentech, el cual permite

obtener un análisis técnico y financiero para cada proceso y se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se seleccionaron componentes sencillos que tuvieran similitud con las propiedades de los componentes reales de la leche.
- Se asumieron reacciones simples e irreversibles con conversión al 100%.
- Los equipos seleccionados solo contienen condiciones necesarias de cambio sin tener en cuenta la energía que entra y sale del equipo.
- Se introdujeron al simulador cantidades específicas en etapas de separación para que el simulador no separe la masa como si fueran componentes por separado.

A su vez, debido a que Aspen PLUS no cuenta con los componentes exactos para el proceso de producción se seleccionan componentes aproximados con características fisicoquímicas similares a los empleados en el proceso real de producción de leche. Se toma como composición general de la leche la presentada por Veisseyre (1988), como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.

Componentes principales de leche

Componente		Masa por cada litro de leche
Agua		900 - 910 gr
Grasa		35 - 45 gr
Extracto seco total 125 - 130 gr	Extracto seco magro 90 - 95 gr	Lactosa 47 - 52 gr
		Sustancias nitrogenadas 33 - 36 gr
		Sales 9 - 9,5 gr

Nota. Además de los componentes presentes en la Tabla 1, también se encuentran otros como: biocatalizadores, pigmentos, enzimas, entre otros.

En la Tabla 3 se presentan los componentes principales de la leche y sus análogos para la simulación.

Tabla 3.

Componentes de la leche con su respectivo homónimo para la simulación.

Componente Leche	Componente escogido simulación	Justificación	Referencia
Agua	Agua	Se encuentra el componente puro	-
Material graso	β -colesterol	El colesterol es uno de los componentes grasos que se encuentra en la leche y el componente más afín es la beta colesterol, teniendo la misma composición química	[23]
Carbohidratos	Lactosa	La lactosa se encuentra pura dentro de la base de datos	-
Sales	Sodio	En la leche se encuentran múltiples tipos de sales y se coloca la más sencilla para correr el simulador	[24]
Material Nitrogenado	Nitrógeno	Debido a que el simulador no cuenta con las caseínas y globulinas de la leche se modela únicamente con el nitrógeno.	[25]

Posterior a la definición de las etapas se seleccionaron los equipos a utilizar y se representaron con equipos existentes dentro del simulador que permitieran introducir las condiciones de operación de cada etapa descrita en los procesos de producción.

3.3.4. Balance de masa y energía.

Una vez realizadas las simulaciones de la leche entera y deslactosada, se procedió a realizar las simulaciones para los quesos, sin embargo, debido a que en el simulador Aspen Plus no se puede simular la etapa de cuajo se calcula un balance de masa y energía simples teniendo en cuenta

que en la etapa mencionada no ocurre una reacción química, sino un cambio en la estructura molecular de la caseína.

3.4. Fase 3: Especificaciones de los equipos.

3.4.1. Determinación de las especificaciones técnicas.

Para la determinación de las especificaciones técnicas de los equipos se tomaron en cuenta las características mínimas que deben cumplir los equipos para cumplir con los criterios del área seleccionada para planta, los resultados de las simulaciones para los procesos de leche y los resultados de los balances de masa y energía para el queso, finalmente con las especificaciones técnicas se enviaron las solicitudes de cotización a los principales proveedores en Colombia.

3.4.2. Selección del mejor proveedor.

Una vez recibidas las cotizaciones por parte de los proveedores se decidió realizar una metodología de matriz de toma de decisiones PUGH [26], donde a cada cotización se le asignó un valor de -1, 0 o 1 para cada criterio, teniendo en cuenta que 1 representa que cumple de manera positiva con el criterio, 0 que no cumple ni incumple el criterio y -1 que no cumple el criterio, finalmente se suman los valores asignados para los criterios de cada cotización y se decide por la cotización con mayor puntaje para recomendar a la asociación. Finalmente se realiza un análisis del requerimiento energético para los equipos presentes en la cotización del proveedor seleccionado.

3.5.1. Fase 4: Determinación de costos.

3.5.1. Determinación de costos directos.

Para la determinación de costos directos se tomó como su definición a aquellos tipos de gastos que tiene una relación directa con el proceso de producción de un producto, afectando de esta forma su precio[27], a su vez para el presente análisis se descartaron los costos asociados al

transporte debido a que la materia prima es producida y recogida por los mismos miembros de la asociación, quedando entonces los gastos del valor de la materia prima y los insumos primarios de los procesos de producción.

3.5.2. Determinación de costos indirectos.

Una vez determinados los costos directos, se procedió a identificar los costos indirectos que de manera general afectan los procesos de producción, teniendo como consideración que un costo indirecto es aquel gasto que son independientes del proceso productivo, como los valores de los equipos, el valor del predio e impuestos[27]. Sin embargo, debido a que el presente estudio no abarca la profundidad de un estudio financiero se desprecian aquellos costos relacionados a los impuestos, adquisición de tierra y depreciación de equipos. Seguidamente, como que el presente estudio se analiza con una proyección a 10 años se divide el total de los costos indirectos en 120 para conocer el costo indirecto mensual para cada producto, como se muestra en la Ecuación 5.

$$\text{Costo indirecto mensual} = \frac{\text{Costo total indirecto}}{120 \text{ meses}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Finalmente, para conocer el costo indirecto para cada producto se divide el costo indirecto mensual entre el número de litros que se producen para cada línea de producto de la Fase 3.2.2. y se utiliza la ecuación 6.

$$\begin{aligned} \text{Costo indirecto para la línea de leche} \\ = \frac{\text{Costo indirecto mensual}}{\text{Litros de leche producidos al mes}} \quad (\text{Ec. 6}) \end{aligned}$$

3.5.3. Determinación de costos totales.

Finalmente, para determinar los costos totales de producción se sumaron los valores obtenidos en las etapas 3.5.1 y 3.5.2, para los costos directos e indirectos de cada proceso respectivamente obteniendo los costos totales de producción de cada línea de productos.

4. Resultados

4.1. Fase 1: Determinación de la localización y capacidad de la planta.

4.1.1. Capacidad instalada de la planta

Inicialmente para obtener la capacidad total de la planta se multiplico el promedio de los valores en la Tabla 1 de las proyecciones de litros de leche necesarios para suplir la demanda entre 2022 y 2032 por el porcentaje de participación del 7% definido en el estudio de mercado Villa & Ramírez (2022), obteniendo el valor de 2'846.364,12[7]. Seguidamente se reemplazaron los valores en la Ecuación 1 para calcular la capacidad de materia prima de la asociación y se obtiene el valor en año para posteriormente convertir la medida de tiempo en mes, como se muestra en los valores de la Ecuación 7.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad mensual} &= \frac{2'846.364,12}{0.8} = 3'557.955,15 \frac{\text{litros}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \\ &= 296.496,12 \frac{\text{litros}}{\text{mes}} \text{ (Ec. 7)} \end{aligned}$$

Finalmente, para conocer la demanda total de leche por producto y teniendo en cuenta que en promedio se requieren 10 litros de leche para producir 1 kg de queso [28], se toman los valores obtenidos para suplir la demanda de leche y quesos de la población objetivo del estudio de mercado de Villa & Ramírez (2022), donde se encuentra que se requieren: 554.388 litros mensuales para la leche y 571.440 litros mensuales para el queso, para un total de 1'125.828 litros mensuales.[7]

4.1.2. Capacidad de producción por la línea de producto

Posteriormente con los valores de leche requerida por la demanda para la producción de leche y queso, 554.388 y 571.440 litros respectivamente, se aplica la Ecuación 2, para encontrar la leche requerida por la demanda para cada producto como se muestra en las Ecuaciones 8, 11,14 y 17 de la Tabla 4. Seguidamente con los valores de leche requeridos por la demanda se calculó el

porcentaje de leche a destinar por la asociación con la Ecuación 3, como se muestra en las ecuaciones 9,12,15 y 18 de la Tabla 4. Para posteriormente emplear los porcentajes destinados para cada producto en el cálculo de los valores de leche a procesar por la asociación para cada línea de producto empleando la Ecuación 4 y teniendo en cuenta la capacidad total instalada del numeral 4.1.1, como se muestra en las Ecuaciones 10,13,16 y 19 de la Tabla 4.

Tabla 4.

Operaciones y cantidades de leche requerida por producto y porcentajes de distribución.

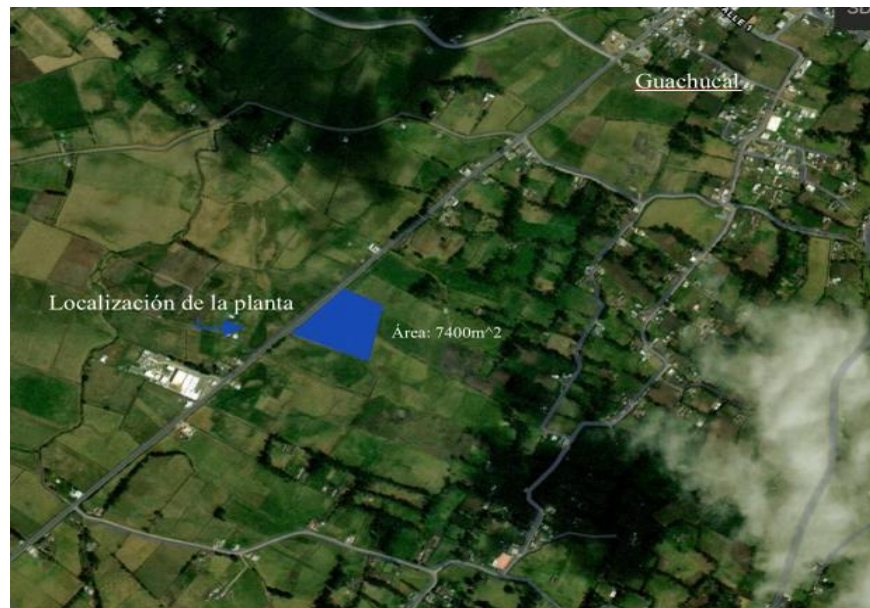
Producto	Operación	Resultado
	$554.388 * 41\%$ (Ec. 8)	227.299 (L/mes)
Leche deslactosada	$\frac{227.299}{1'125.828}$ (Ec. 9)	20.19 %
	$296.496,12 * 20.19\%$ (Ec. 10)	59.862 (L/mes)
	$554.388 * 59\%$ (Ec. 11)	327.089 (L/mes)
Leche entera	$\frac{327.089}{1'125.828}$ (Ec. 12)	29.05%
	$296.496,12 * 29.05\%$ (Ec. 13)	86.132 (L/mes)
	$571.440 * 49\%$ (Ec. 14)	280.006 (L/mes)
Queso campesino	$\frac{280.006}{1'125.828}$ (Ec. 15)	24.87%
	$296.496,12 * 24.87\%$ (Ec. 16)	73.738 (L/mes)
	$571.440 * 51\%$ (Ec. 17)	291.434 (L/mes)
Queso doble crema	$\frac{291.434}{1'125.828}$ (Ec. 18)	25.89%
	$296.496,12 * 25.89\%$ (Ec. 19)	76.763 (L/mes)

4.1.3. Localización de la planta

Para disminuir costos de compra de terreno se decidió por una de las áreas pertenecientes a la asociación ASOIPIALPUD de 7400 m² para el diseño y localización de la planta, ubicado en la vía Guachucal – Cumbal, específicamente en la latitud 0.951764° y longitud 77.740577°, entre algunas características del terreno se encuentra que está a una altura de 3.108 metros sobre el nivel del mar, a una temperatura que varía entre los 5° y 15° C y con acceso a la ruta Guachucal – Cumbal, lo que lo hace un terreno de fácil acceso para el transporte de los productos, con un clima adecuado para la conservación de leche y con fácil instalación y acceso a servicios industriales como luz y agua. En la Figura 1, se puede apreciar la ubicación y espacio del terreno desde una vista superior utilizando la aplicación de Google Maps.

Figura 1.

Localización de la planta.



Nota. Adaptado de Google Maps.

4.2. Fase 2: Descripción de los procesos de producción.

4.2.1. Revisión del marco legal

A partir de la revisión legal de las leyes y decretos relacionados con los estándares de producción y calidad de productos alimenticios se encontró que mediante el artículo 2 del capítulo 1 del decreto 243 del 30 de agosto de 1983, el ministerio de salud define a la leche como “el producto de la secreción normal de la glándula mamaria de animales bovinos sanos, obtenida por uno o varios ordeños diarios, higiénicos, completos e ininterrumpidos” [3]. De la misma manera con relación a calidad de los productos a elaborar se define el marco legal para Colombia en cuanto al número y tipo de microorganismos permitidos, envasado, contenido nutricional y aditivos según el decreto 0616 de 2021. Finalmente, aun cuando en el presente estudio no se analiza la etapa de empaquetado se recalca que este debe cumplir con las resoluciones 683 de 2012, 4143 de 2012 y 2674 de 2012 expedidas por el Ministerio de salud y Protección social para las especificaciones técnicas del material de los empaques y las resoluciones 5109 de 2005 y 333 de 2011 con respecto al contenido de la impresión de estos.

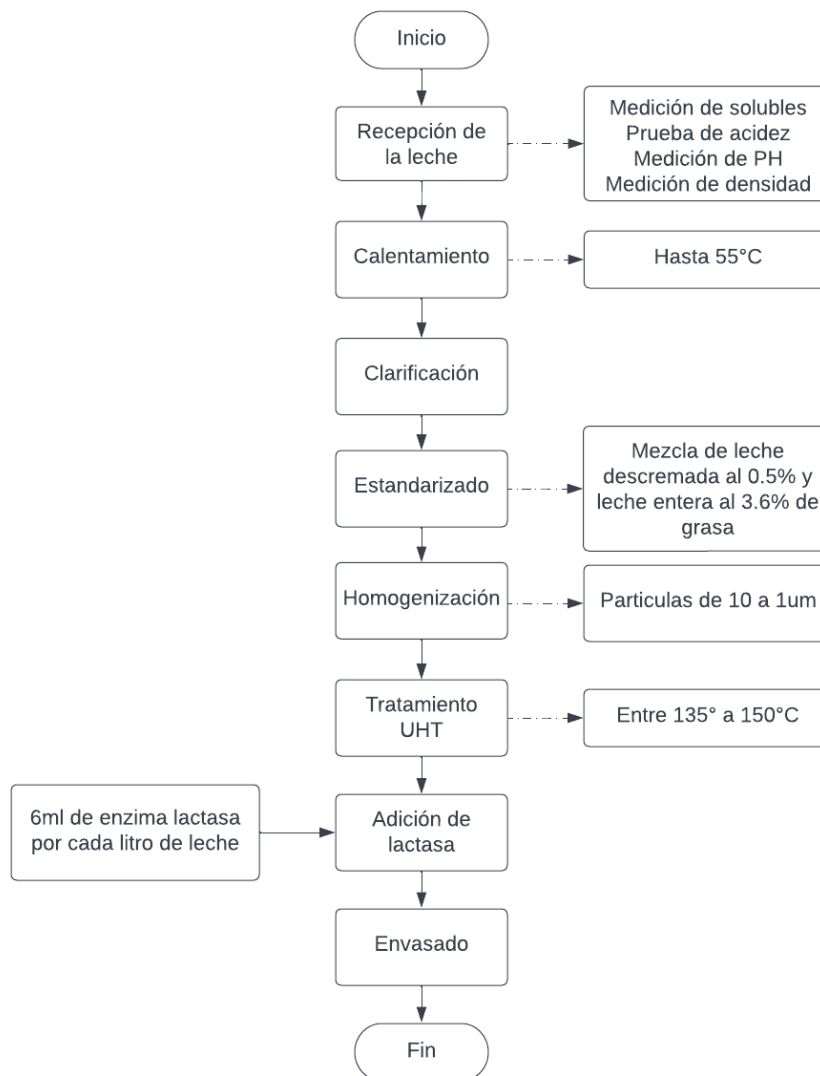
4.2.2. Diagramas de bloques de los procesos.

Diagrama de bloques del proceso de producción de Leche Deslactosada: Para el proceso de la leche deslactosada se definió como primera etapa la recepción de la leche cruda junto con sus respectivos análisis [29] cumpliendo todos los criterios establecidos en el decreto número 616 de 2006 propuesto por el ministerio de la protección social, seguido de la clarificación para disminuir viscosidad y separar partículas sólidas [30], el estandarizado llegando al porcentaje de grasa establecido por la legislación colombiana [30], y la homogenización para evitar la separación de dicha grasa. En seguida el tratamiento UHT llegando a temperaturas entre 135°C y 150°C para disminuir la carga microbiológica en la leche asegurando su inocuidad [31], la adición de la enzima lactasa para separar galactosa y glucosa [30], y el envasado cumpliendo con el decreto 616 del

2006 [31]. El diagrama de bloques del proceso se representa en la Figura 2. Así mismo se pueden profundizar las explicaciones e insumos de las etapas del proceso en el Anexo 1.

Figura 2.

Diagrama de bloques del proceso de producción de leche Deslactosada.



Proceso de producción de Leche Entera: El proceso de leche entera se definió teniendo en cuenta que este ejecuta las mismas etapas que el proceso de leche deslactosada, omitiendo la adición de la enzima lactasa, la cual se mantiene intacta durante todo el proceso de producción.

Diagrama de bloques del proceso de producción de Queso Campesino: La elaboración del queso inicia con las mismas etapas que la leche hasta el proceso de estandarización donde no se retira la grasa debido a que es necesaria para la producción del queso cumpliendo con el decreto 616 del 2006 [31], Posteriormente se agrega el cloruro de calcio para reforzar el contenido de proteína, y nivelar los contenidos de acidez con el propósito de lograr textura y maduración del queso, este se adiciona en el contenedor de leche desinfectada y posteriormente se adiciona el cuajo a una temperatura de 32°C por un tiempo entre 30 y 40 minutos. Se realiza un corte en liras del cuajado obtenido para después realizar un corte en cubos de 1 centímetro aproximadamente, posteriormente, se deja reposar de 3 a 5 minutos y el producto para pasar a la etapa de compactación del queso con un filtro separador de suero y cuajo a una temperatura de 38°C a 40°C. Por último, se realiza la adición de sal al cuajo y se procede al prensado del queso para su respectivo empaclado y almacenamiento a 10°C [24] como se muestra en la Figura 3. Así mismo se pueden profundizar las explicaciones e insumos de las etapas del proceso en el Anexo 2.

Figura 3.

Diagrama de bloques del proceso de producción del queso campesino.

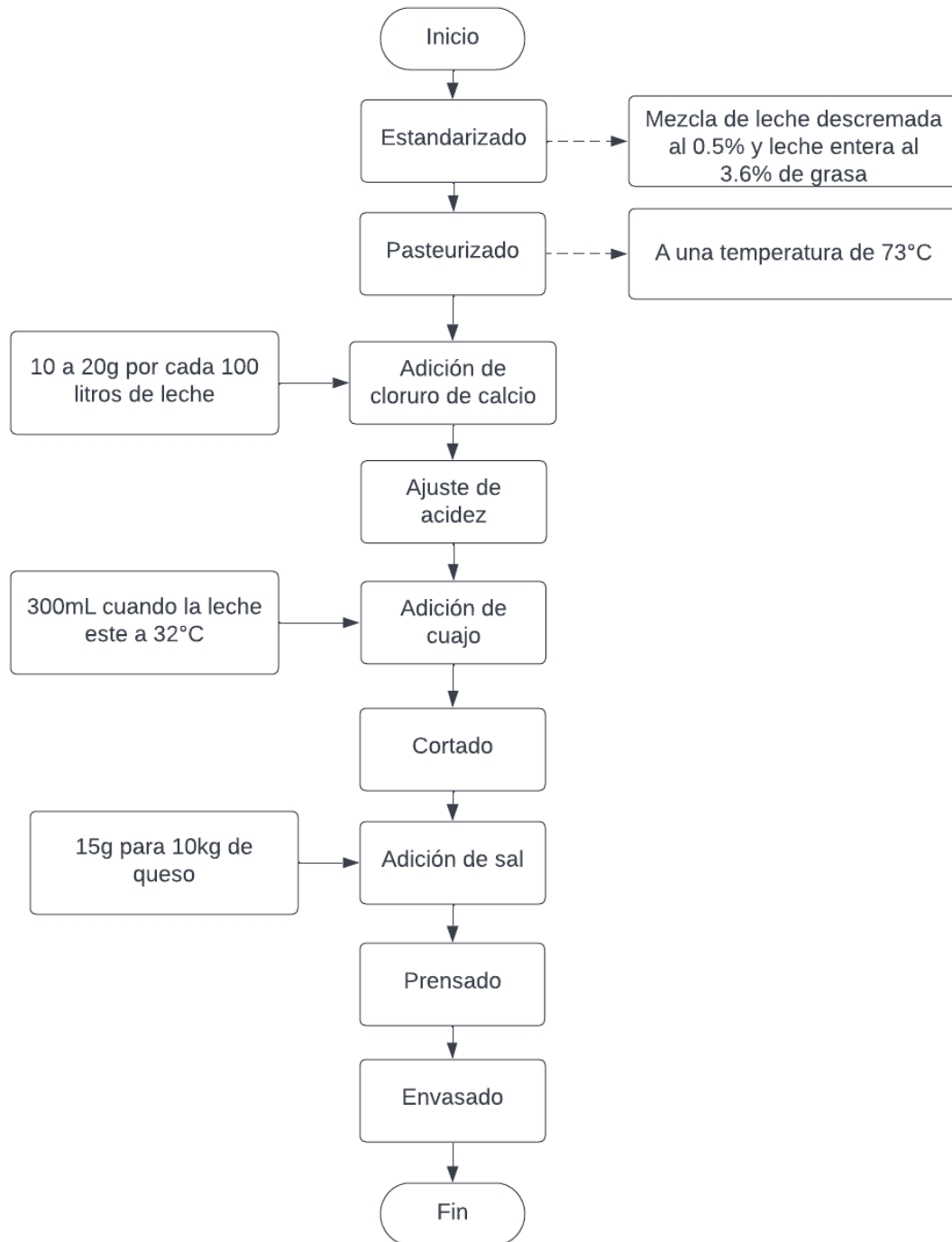
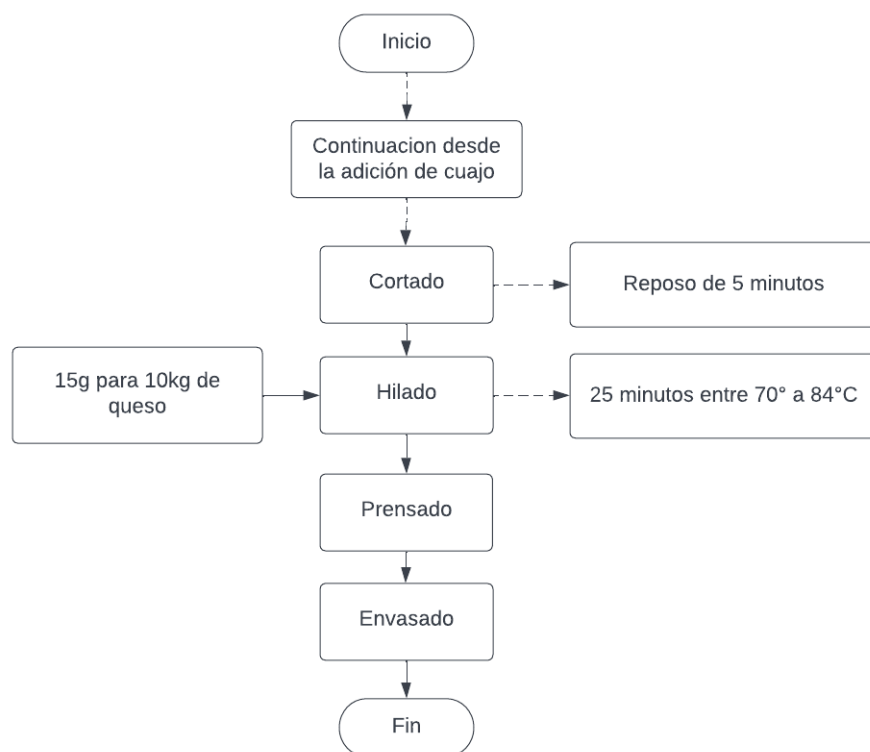


Diagrama de bloques del proceso de producción de Queso Doble Crema: Como se mencionó anteriormente, el alistamiento de la leche para el queso es exactamente igual que el alistamiento para la producción de leche, a excepción de la separación de un porcentaje de grasa debido a que este es necesario para la producción del queso, adicionalmente, se realizó el mismo procedimiento que para el queso campesino hasta la etapa de adición de cuajo, Figura 3, posteriormente al queso doble crema se le realizó un proceso de hilado antes del moldeo, empaque y almacenado, se realizó el hilado con una máquina especial que consiste en estirar el cuajo para lograr la textura y propiedades del queso doble crema [32], como se muestra en la Figura 4. Así mismo se pueden profundizar las explicaciones e insumos de las etapas del proceso en el Anexo 3.

Figura 4.

Diagrama de bloques del proceso de producción de queso doble crema.



4.2.3. Simulación.

Para la simulación se utilizaron calentadores y enfriadores llevando las condiciones de cada etapa con los compuestos de la leche separados debido a que el simulador no contiene la leche como un compuesto unido, Tabla 3, en cada etapa fue necesario especificar los flujos por componente debido a que a temperaturas superiores a los 30°C el simulador leía por separado los componentes. Para la leche deslactosada se adicionó un reactor batch para simular la separación de la glucosa y galactosa adicionando agua debido a que el simulador no incluye enzimas dentro de su operación. Por último, se simuló únicamente la parte del proceso de preparación de la leche para la producción de queso, debido a que las fases siguientes consisten en la enzima y procesos mecánicos. De esta forma se especifican los diagramas como se ve en las Figuras 5, 6 y 7.

Figura 5.

Simulación para el proceso de leche entera.

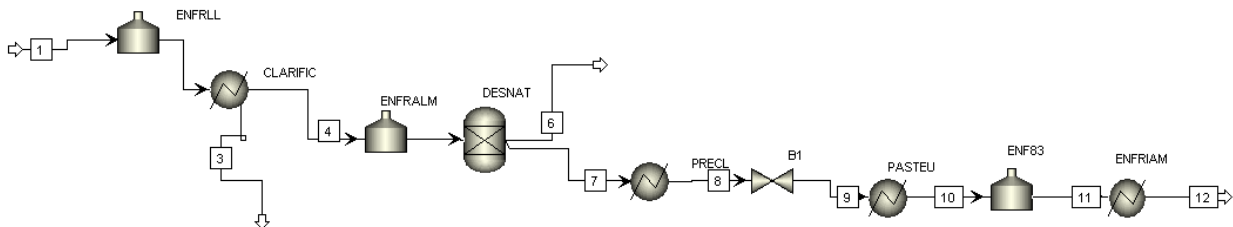


Figura 6.

Simulación para el proceso de leche deslactosada.

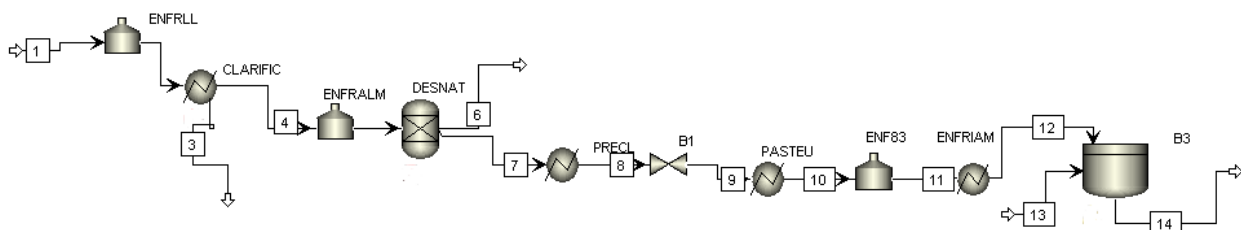
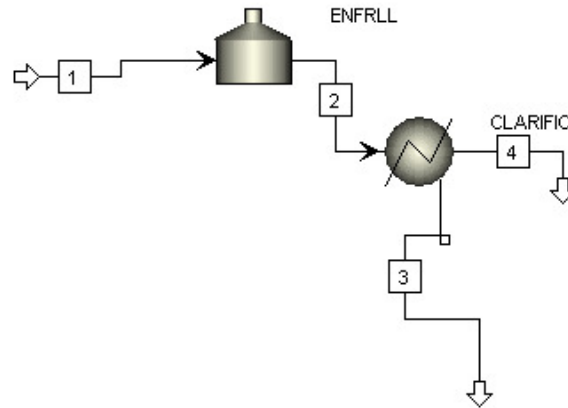


Figura 7.

Simulación para los procesos de los quesos doble crema y campesino.



4.2.4. Balance de masa y energía.

De acuerdo con los diagramas descritos en la Fase 4.2.3 se especifican los flujos y composiciones másicas de cada corriente y cada diagrama. En la Tabla 5 se muestran los resultado de la simulación de leche entera de acuerdo a la numeración de corrientes de la Figura 5, con la información de condiciones, flujos y composiciones de cada corriente, esta simulación consiste en 9 fases conectadas en secuencia, la corriente “1” llega a temperatura ambiente y se conecta a un enfriador con el fin de que la leche no tenga contaminación microbiológica y se conserve, de este equipo sale la corriente “2” la cual es conectada a un clarificador que consiste en separar partículas sólidas de la leche que pueden venir de los contenedores o del proceso de ordeño, esta clarificación se realiza por encima de la temperatura ambiente separando el sedimento que sale como un aproximado el 5% de la masa total, dicho sedimento sale en la corriente “3”, mientras que la corriente “4” continua en el proceso con el 95% de masa inicial, esta corriente entra a un equipo de enfriamiento para su respectivo almacenado y posteriormente sale la corriente “5” la cual ingresa al equipo de desnatado en donde se retira la grasa de la leche hasta dejara en un 3,5% de grasa en la corriente “7”, la corriente “6” sale con el restante de grasa que se retiró, la corriente

“7” entra a un precalentamiento para realiza un preproceso de pasteurizado, posteriormente, sale la corriente “8” la cual se pasa por una válvula que simula la homogenización en donde se busca evitar al separación de fases, de esta válvula sale la corriente “9” la cual entra al equipo de pasteurizado elevando al temperatura hasta 150°C, de este equipo sale la corriente “10” la cual se procede a enfriar hasta un punto medio, de este enfriador sale la corriente “11” la cual ingresa al enfriamiento de almacenamiento por debajo de los 10°C y finalmente sale la corriente “12” con leche entera lista para su consumo.

Tabla 5.

Resultados de la simulación para el proceso de leche entera.

Material													
Nombre Corriente	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura	C	25	10	60	60	5	10	10	70	68,64	150	83	6
Flujos Másicos	kg/hr	230	230	11,5	218,5	218,5	1,161	217,339	217,339	217,339	217,339	217,339	217,339
Agua	kg/hr	188,917	188,917	9,446	179,471	179,471	0	179,471	179,471	179,471	179,471	179,471	179,471
Grasa	kg/hr	9,342	9,342	0,467	8,875	8,875	1,161	7,714	7,714	7,714	7,714	7,714	7,714
Lactosa	kg/hr	10,795	10,795	0,540	10,256	10,256	0	10,256	10,256	10,256	10,256	10,256	10,256
Sust. Nitrogenada	kg/hr	7,474	7,474	0,374	7,100	7,100	0	7,100	7,100	7,100	7,100	7,100	7,100
Sal	kg/hr	1,972	1,972	0,099	1,874	1,874	0	1,874	1,874	1,874	1,874	1,874	1,874
Proteína	kg/hr	11,5	11,5	0,575	10,925	10,925	0	10,925	10,925	10,925	10,925	10,925	10,925
Fracciones Másicas													
Agua		0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826
Grasa		0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	1	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Lactosa		0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
Sust. Nitrogenada		0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033
Sal		0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Proteína		0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050

Seguidamente, en la Tabla 6 se muestran los resultado de la simulación de leche deslactosada de acuerdo a la numeración de corrientes de la Figura 6, con la información de condiciones, flujos y composiciones de cada corriente, esta simulación consiste en el mismo procedimiento que la leche entera, a excepción de que en este proceso se adiciona una fase de deslactosado, la cual es simulada con un reactor batch en el que entra una corriente de agua que simula la enzima lactasa que cede los átomos de hidrógeno necesarios para separar la lactosa en glucosa y galactosa por medio de una reacción simple, la corriente “13” contiene el agua necesaria y la corriente “14” contiene la leche deslactosada lista para su consumo.

Tabla 6.

Resultados de la simulación para el proceso de leche deslactosada.

Material															
Nombre Corriente	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Temperatura	C	25	10	60	60	5	10	10	70	686.421	150	83	6	8	8
Presión	bar	1	1	1	1	1	1	1	1	0,8	1	1	1	101.325	101.325
Flujos Másicos	kg/hr	170	170	8,5	161,5	161,5	0,858	160,642	160,642	160,642	160,642	160,642	160,642	7,979	168,622
Agua	kg/hr	139,634	139,634	6,982	132,652	132,652	0	132,652	132,652	132,652	132,652	132,652	132,652	7,979	140,233
Grasa	kg/hr	6,905	6,905	0,345	6,560	6,560	0,858	5,702	5,702	5,702	5,702	5,702	5,702	0	5,702
Lactosa	kg/hr	7,979	7,979	0,399	7,580	7,580	0	7,580	7,580	7,580	7,580	7,580	7,580	0	0
Sust. Nitrogenada	kg/hr	5,524	5,524	0,276	5,248	5,248	0	5,248	5,248	5,248	5,248	5,248	5,248	0	5,248
Sal	kg/hr	1,458	1,458	0,073	1,385	1,385	0	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385	0	1,385
Proteína	kg/hr	8,5	8,5	0,425	8,075	8,075	0	8,075	8,075	8,075	8,075	8,075	8,075	0	8,075
Glucosa	kg/hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,990
Galactosa	kg/hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,990
Fracciones Másicas															
Agua		0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	1	0,832
Grasa		0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	1	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0	0,034
Lactosa		0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0	0
Sust. Nitrogenada		0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0	0,0311
Sal		0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0	0,0082
Proteína		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0	0,0479
Glucosa		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0237
Galactosa		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0237

A su vez, la Tabla 7 se muestran los resultado de la simulación de quesos de acuerdo a la numeración de corrientes de la Figura 7, con la información de condiciones, flujos y composiciones de cada corriente, en esta simulación únicamente se describen dos fases principales, la corriente “1” llega con leche la cual es enfriada para su conservación, posteriormente, sale la corriente “2” la cual ingresa a una clarificación en donde se desinfecta la leche y se separa el 5% aproximadamente que corresponde al sedimento y partículas sólidas que salen en la corriente “3”, de este equipo sale también la corriente “4” la cual contiene la leche lista para el proceso de cuajo, salado, prensado y empaclado del queso, en este proceso se mantienen las condiciones y composiciones de la leche, a excepción de la cantidad de proteína, puesto que dichos resultados son especificados posteriormente en la Tabla 8.

Tabla 7.

Resultados de la simulación para los procesos de los quesos doble crema y campesino.

Material					
Nombre Corriente	Unidades	1	2	3	4
Temperatura	C	25	10	60	60
Presión	bar	1	1	1	1
Entalpia Másica	cal/gm	-3226,550	-3240,590	-3192	-3192
Entropia Másica	cal/gm-K	-2,111	-2,159	-2,002	-2,002
Densidad Másica	gm/cc	0,031	0,033	0,023	0,023
Flujos Másicos		200	200	10	190
Agua	kg/hr	164,276	164,276	8,214	156,062
Grasa	kg/hr	8,124	8,124	0,406	7,717
Lactosa	kg/hr	9,387	9,387	0,469	8,918
Sust. Nitrogenada	kg/hr	6,499	6,499	0,325	6,174
Sal	kg/hr	1,715	1,715	0,086	1,629
Proteína	kg/hr	10	10	0,5	9,5
Fracciones Másicas					
Agua		0,821	0,821	0,821	0,821
Grasa		0,041	0,041	0,041	0,041
Lactosa		0,047	0,047	0,047	0,047
Sust. Nitrogenada		0,032	0,032	0,032	0,032
Sal		0,009	0,009	0,009	0,009
Proteína		0,050	0,050	0,050	0,050

En continuación con el balance de masa del queso, se adicionaron las cantidades de cuajo y cloruro de calcio teniendo en cuenta la densidad promedio de la leche [33] en las siguientes Ecuaciones 20 y 21:

$$\frac{300 \text{ ml de cuajo}}{103,1 \text{ Kg de Leche}} \rightarrow \frac{300 \text{ ml de cuajo}}{103,1 \text{ Kg de Leche}} \cdot 200 \text{ Kg de Leche}$$

$$= 581,96 \text{ ml de Cuajo (Ec. 20)}$$

$$\frac{20 \text{ gr de Cloruro de Calcio}}{103,1 \text{ Kg de Leche}} \rightarrow \frac{20 \text{ gr de Cloruro de Calcio}}{103,1 \text{ Kg de Leche}} \cdot 200 \text{ Kg de Leche}$$

$$= 38,8 \text{ gr de Cloruro de Calcio (Ec. 21)}$$

Se especificó el Cuajo en “ml” debido a que comercialmente se vende en medida de volumen (litros), y se especificó el Cloruro de Calcio en “gr” debido a que se vende comercialmente en medida de masa (Kg). Teniendo en cuenta dichas conversiones, para el proceso

del queso campesino y doble crema, se adiciona en cada línea 581,96 ml de Cuajo y 38,8 gr de Cloruro de Calcio, dichas composiciones no alteran en sobremanera la composición química de la leche, únicamente altera la cantidad de calcio que corresponde a la proteína alterándola como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.

Resultados de la simulación para los procesos de adición de cuajo y cloruro de calcio.

Material			
Nombre Corriente	Unidades	4	Queso
Temperatura	C	60	60
Presión	bar	1	1
Flujos Másicos	kg/hr	190	190
Agua	kg/hr	156,062	156,062
Grasa	kg/hr	7,717	7,717
Lactosa	kg/hr	8,918	8,918
Sust. Nitrogenada	kg/hr	6,174	6,174
Sal	kg/hr	1,629	1,629
Proteína	kg/hr	9,5	9,54
Fracciones Másicas			
Agua		0,821	0,821
Grasa		0,041	0,041
Lactosa		0,047	0,047
Sust. Nitrogenada		0,032	0,032
Sal		0,009	0,009
Proteína		0,050	0,050

Se especificó la última corriente como queso, debido a que esta es a la composición que se mantiene a lo largo del proceso, para especificar el proceso del queso se describe la Fase 3 especificando los equipos usados y el mecanismo de cada equipo con su uso.

4.3. Fase 3: Especificaciones de los equipos.

4.3.1. Determinación de las especificaciones técnicas.

Una vez definidas las etapas de producción para cada producto, se organizaron y determinaron los equipos y maquinaria necesaria para las etapas de los procesos de producción teniendo en cuenta los volúmenes de leche y los servicios industriales dispuestos para cada uno como criterio de especificaciones mínima, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 10.

Tabla 9.

Equipos y maquinaria requeridos por las etapas del proceso y las especificaciones mínimas para el flujo de leche.

Producto	Etapa del proceso	Maquinaria	Requerimiento de flujo mínimo (L/h)
Leche	Almacenamiento	Tanque de almacenamiento	674
	Pasteurización	Unidad de pasteurización	
	Almacenamiento de leche pasteurizada	Tanque para leche pasteurizada	
Queso	Estandarización	Tanque de procesamiento de quesos	600
	Adición de cuajo	Prensa de cuajada	
	Corte de cuajo	Máquina cortadora de cuajada	

Nota. Los flujos mínimos se calcularon teniendo en cuenta el valor máximo requerido entre los dos tipos de leche y quesos y evaluando que la capacidad máxima no debe sobrepasar el 80 por ciento.

De igual forma según las disposiciones de la normativa Colombia en el decreto 616 de 2016 en los Capítulos VI con relación a las plantas para el procesamiento de leche y VII con relación al proceso de higienización los equipos deben ser de acero inoxidable, con procesos estandarización de fácil de limpieza y desinfección y contar con los filtros necesarios para garantizar los estándares mínimos de calidad para la leche y sus derivados, así como las conexiones y bombas para el suministro y caudal de la materia prima.

4.3.2. Selección del mejor proveedor.

Posteriormente se realiza la metodología de selección por matriz PUGH, donde se encuentra que en base a los criterios de localización, experiencia, mantenimiento, capacitaciones, precios y cumplimiento con el decreto 616 de 2016, el mejor proveedor para la maquinaria es la cotización recibida por el proveedor INOXPA, tanto para las líneas de leche entera y deslactosada como para las de queso doble crema y campesino, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 10.

Matriz de toma de decisiones para elección del mejor proveedor de equipos para los procesos de la leche y el queso.

Alternativas / Criterios	CALDEINOX	INOXPA	MILKMAN	AGRILAC
Localización de la empresa	1	0	-1	0
Mas de 5 años de experiencia	-1	1	1	-1
Capacitaciones	-1	1	1	-1
Mantenimientos preventivos	0	1	1	0
Insumos requeridos por los equipos	-1	0	1	-1
Cumple las especificaciones técnicas de la norma 616	1	1	1	1
Costo de los equipos	1	-1	-1	1
Costo de envío	1	1	-1	0

Alternativas / Criterios	CALDEINOX	INOXPA	MILKMAN	AGRILAC
Tiempo de envío	1	0	0	0
Garantía de los equipos	0	1	1	0
Total	2	6	3	-1

A su vez , en la Tabla 11, se muestra el consumo energético por unidad de proceso según el proveedor INOXPA y se especifican los equipos asociados a cada unidad, en donde la leche deslactosada tiene un consumo total de 34,5 kW/h comprendido por, unidad de recepción de leche, unidad de almacenamiento de leche cruda, unidad de pasteurización, homogeneizador, descremadora, almacenamiento de leche pasteurizadora y envasadora de leche, la leche deslactosada tiene un consumo total de 39,8 kW/h comprendido por, las mismas unidades de la leche deslactosada y añadiendo el batch donde se realiza el deslactosado. El queso campesino tiene un consumo total de 38 kW/h comprendido por, unidad de recepción de leche, unidad de almacenamiento de leche cruda, unidad de pasteurización, homogeneizador, almacenamiento de leche pasteurizadora batch y empacadora de queso, el queso doble crema tiene un consumo total de 39,2 kW/h comprendido por las mismas unidades que el queso campesino y añadiendo la hiladora de quesos.

Tabla 11.

Consumo energético para los equipos de los procesos de producción de leche y queso.

Descripción	Consumo energético (kW / h)
Unidad de recepción de leche	1,5
Unidad de almacenamiento de leche cruda	5,0
Unidad de pasteurización	8,0
Homogeneizador	9,2
Descremadora	1,8
Almacenamiento de leche pasteurizadora	5,0
Batch para deslactosado y cuajo	5,3
Envasadora de leche	2,2
Hiladora de queso	1,2

Finalmente, Se tomaron las fichas técnicas de los equipos a partir de la cotización del proveedor elegido, y se realizó la Tabla 12, de especificaciones teniendo en cuenta material, capacidad, conexiones, tiempo de cierre, y caudales máximos y mínimos.

Tabla 12.

Especificaciones técnicas de los equipos para los procesos de producción según el proveedor seleccionado.

Equipo	Material	Capacidad	Conexiones	Tipo de cierre	Caudales max	Caudales min
Válvulas	Acero inoxidable AISI 304L	5000 L/h	Clamp	Manual	5000 L/h	0,1 L/h
Bomba centrífuga	Acero inoxidable AISI 304L	5000 L/h	Clamp	Manual	5000 L/h	0,1 L/h
Filtro	Acero inoxidable AISI 304L	-	-	-	-	-
Tanque	Acero inoxidable AISI 304L	1000 L/h	Directa	Manual	1000 L/h	0,1 L/h
Unidad de enfriamiento	Acero inoxidable AISI 304L	1000 L/h	Directa	Sellada	1000 L/h	100 L/h
Refrigerante	R-507	-	-	Sellada	-	-
Evaporador	Acero inoxidable AISI 304L	1000 L/h	Directa	Manual	1000 L/h	0,1 L/h
Depósito	Acero inoxidable AISI 304L	100 L/h	Racores	Manual	100 L/h	0,1 L/h
Intercambiador de placas	Acero inoxidable AISI 304L	1000 L/h	Directa	Manual	1000 L/h	0,1 L/h
Circuito agua fría/caliente	Acero inoxidable AISI 304L	1500 L/h	Directa	Sellada	1500 L/h	0,1 L/h
Retenedor	Acero inoxidable AISI 304L	-	Clamp	Manual	-	-
Agitador	Acero inoxidable AISI 304L	-	Directa	Manual	-	-
Envasadora	Acero inoxidable AISI 304L	550 L/h	Directa	Sellada	550 L/h	0,1 L/h
Hiladora moldeadora	Acero inoxidable AISI 304L	500 L/h	Directa	Manual	500 L/h	0,1 L/h
Empacadora de queso	Acero inoxidable AISI 304L	500 L/h	Directa	Manual	500 L/h	0,1 L/h

Fuente: [34]

4.4. Fase 4: Determinación de costos.**4.4.1. Determinación de costos directos.**

Para calcular los costos de la materia prima de producción se consideraron por separado las líneas de la leche y el queso, teniendo en cuenta la cantidad y valor necesario que se necesita para cada insumo, como se muestra en las Tablas 13 y 14. Finalmente, como el proceso de producción de leche entera no requiere de ningún insumo se considera que su costo directo es el valor de la materia prima.

Tabla 13.*Costos directos de la leche deslactosada*

Insumo	Cantidad	Precio unitario	Precio para 1 Litro
leche (L)	1,00	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
lactasa (ml)	6,00	\$ 396,78	\$ 2.380,68
Total			\$ 3.580,68

Tabla 14.*Costos directos del queso campesino y doble crema*

Insumo	Cantidades para producir 10 kg de queso	Precio unitario	Precio para producir 10 kg de queso
Leche (L)	100	\$ 1.200,00	\$ 120.000,00
sal (g)	15	\$ 0,08	\$ 1,25
cuajo (ml)	300	\$ 71,20	\$ 21.360,00
Cloruro de calcio (g)	20	\$ 35,80	\$ 716,00
Total			\$ 142.077,25

4.4.2. Determinación de costos indirectos.

Para la determinación de los costos indirectos se tuvieron en cuenta el valor unitario de cada uno de los equipos necesarios para las etapas de los procesos de producción sin tener en cuenta la depreciación anual o impuestos como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15.

Costos indirectos de las líneas de producción

Equipo	Costo
Recepción leche	\$ 7.200.000,00
Unidad de almacenamiento de leche cruda	\$ 90.300.000,00
Descremadora	\$ 138.000.000,00
Homogeneizador	\$ 241.000.000,00
Pasteurizador	\$ 235.000.000,00
Tanque de almacenamiento de leche pasteurizada	\$ 90.000.000,00
Envasadora vertical de leche	\$ 106.500.000,00
Tina de cuajo	\$ 275.000.000,00
Hiladora Moldeadora	
Puesta en marcha y transporte	\$ 52.500.000,00
Total	\$ 1'235'500.000,00

Seguidamente se calcula los costos indirectos mensuales con base en la Ecuación 5, como se muestra en la Ecuación 22.

$$\text{Costo indirecto mensual} = \frac{1'235'500.000,00}{120 \text{ meses}} = 10'295.833,33 \text{ (Ec. 22)}$$

Finalmente, para obtener el costo indirecto por producto se aproximó al entero más cercano y se aplicó la Ecuación 6, utilizando los valores de la Etapa 4.1.2, como se muestra en las ecuaciones 23 a 26 de la Tabla 16.

Tabla 16.

Costos indirectos para cada línea de producto por litro de leche

Producto	Operación	Resultado
Leche entera	$\frac{10'295.833,00}{59.862,00}$ (Ec. 23)	\$ 171,99
Leche deslactosada	$\frac{10'295.833,00}{86.132,00}$ (Ec. 24)	\$ 119,53
Queso campesino	$\frac{10'295.833,00}{73.738,00}$ (Ec. 25)	\$ 139,62
Queso doble crema	$\frac{10'295.833,00}{76.763,00}$ (Ec. 26)	\$ 134,12

4.4.3 Determinación de costos totales.

Para calcular los costos totales de producción por cada línea de producto se sumaron los costos directos e indirectos de cada uno, y se obtuvieron los resultados de la Tabla 16.

Tabla 17.

Costos totales de producción por cada línea de producto

Línea de producción (Cantidad)	Costo directo de producción	Costo indirecto de producción	Costo total de producción
Leche entera (1 L)	\$ 1.200	\$ 172	\$ 1.372
Leche deslactosada (1L)	\$ 3.580	\$ 120	\$ 3.700
Queso doble crema (10 kg)	\$ 142.077,25	\$ 140	\$ 142.217,25
Queso campesino (10kg)	\$ 142.077,25	\$ 134	\$ 142.211,25

Finalmente, en la Tabla 17, se muestran los costos de todos los equipos que requieren los procesos, del total de insumos y del total materia prima por año, teniendo en cuenta que la principal diferencia de los procesos de leche es la adición de la enzima lactasa y que en los quesos la principal diferencia es la etapa de hilado, evaluación así la variación en los costos de puesta en marcha de cada línea.[34]

Tabla 18.

Costos totales por producto y categoría por año.

Costos de producción	Costos de equipos	Costos de insumos	Costos de materia prima	Costos Total
Leche entera	\$ 675.300.000	\$ -	\$ 1.067.040.000	\$ 1.742.340.000
Leche deslactosada	\$ 813.900.000	\$ 404.716	\$ 954.720.000	\$ 1.769.024.716
Queso campesino	\$ 667.600.000	\$ 2.066.430.600	\$ 1.123.200.000	\$ 3.857.230.600
Queso doble crema	\$ 942.600.000	\$ 2.066.430.600	\$ 1.123.200.000	\$ 4.132.230.600
Costos Total	\$ 3.099.400.000	\$ 4.133.265.916	\$ 4.268.160.000	

5. Conclusiones

A partir del estudio de mercados se determinó que la capacidad instalada de la planta es de 760 kg/h de acuerdo con la demanda del mercado y su proyección a 10 años. En cuanto a las líneas de producción se determinó que la planta debe producir 190 kg/h de leche entera, 170 kg/h de leche deslactosada, 200 kg/h de queso campesino y 200 kg/h de queso doble crema para cubrir las necesidades del mercado.

Se diseñó la planta con base en los requerimientos técnicos y legales para productos lácteos usando el software Aspen Plus. Este diseño contiene los diagramas de bloques, los cambios en las condiciones de las fases, los balances de masa, los equipos a utilizar, características de los productos y flujos de los procesos para llevar a cabo cada línea de procesamiento (Leche entera, leche deslactosada, queso campesino y queso doble crema).

Se establecieron las especificaciones de materiales, tamaño, conexiones, tipo de cierre, caudales máximos y mínimos para cada equipo teniendo en cuenta el diseño de la planta y las regulaciones de calidad. De esta manera, se logra procesar la cantidad de masa propuesta y se recomienda como proveedor a la empresa INOXPA COLOMBIA SAS debido a los resultados obtenidos en la matriz PUGH en donde destacan los costos de envíos, garantías y mantenimientos.

El costo de producción para cada uno de los productos es 1.742 millones para leche entera, 1.760 millones para leche deslactosada, 3.857 millones para queso campesino y 4.132 millones para queso doble crema, obteniendo el mayor costo en los insumos necesarios con un total de 4.268 millones.

6. Recomendaciones

Primeramente y en base a los resultados obtenidos en el presente estudio se recomienda realizar las simulaciones de los procesos de producción con un software que contenga los compuestos principales de la leche, Tabla 1, con el fin de obtener resultados más precisos y cercanos a la realidad en los balances de masa y energía.

A su vez se recomienda implementar un proceso de calidad durante la etapa de recepción de la materia prima, que incluya la verificación de la cantidad Aflatoxina M1 por litro de leche, con el fin de evitar que supere los 0,5 µg/L y prevenir poner en riesgo a aquellos menores que consuman los productos procesados.

También se recomienda profundizar en la investigación e implementación del proceso de adición de la β-ciclodextrina, la cual es una molécula que reduce el 98% de colesterol en la leche, mitigando uno de los aspectos por los cuales la gente a veces no la consume.

Finalmente, se recomienda continuar el desarrollo de la investigación con un estudio financiero y ambiental, donde se tengan en cuenta los costos indirectos como la depreciación de los equipos, la mano de obra, los impuestos y la inversión. Así como los factores de impacto ambiental y sostenimiento ya que el sector lácteo es el responsable del 2.7% de las emisiones de gases. Todo esto con el fin de evaluar la viabilidad potencial del proyecto para la asociación ASOPIALPUD.

Referencias Bibliográficas

- [1] G. S. Lozano, B. C. E. Maturana, Juan Camilo Villar Otálora, Cindy Carolina Lugo Rozo, O. D. V. V. Borda, Miguelángel Ramírez Suárez, Mary Carrillo Pacheco, and J. A. R. A. y D. R. D. Hernández, “ESTUDIOS ECONÓMICOS SECTORIALES,” 2021. [Online]. Available: https://www.sic.gov.co/sites/default/files/documentos/032022/ES-SLC_Version-publica.pdf
- [2] A. Pinto, “Sector lechero en Colombia: Potencial desperdiciado,” *Universidad de los Andes*, 2017. <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2017/09/sector-lechero-en-colombia-potencial-desperdiciado/>
- [3] Agronet, “Volumen (lt) Total Nacional de Leche Captada por la Industria,” *Ministerio De Agricultura*, 2022. <https://experience.arcgis.com/experience/f63f655e2a534213848432434325f852/page/Perfiles-Departamentales/?views=Educación%2CLEche>
- [4] Iniciativa LACTIS, “Entregable 4 Nariño.” [Online]. Available: https://redclustercolombia.gov.co/storage/initiatives/documents/Iniciativa-lactis_2.pdf
- [5] J. Name, “Inequidad que oprime a lecheros,” *LA REPUBLICA*, 2021. <https://www.larepublica.co/analisis/jose-david-name-507206/inequidad-que-oprime-a-lecheros-3142166>
- [6] Asoleche, “Para Construir la Política Láctea,” 2017. <https://asoleche.org/2017/03/27/el-sector-lacteo-y-sus-problematicas/>

- [7] J. Villa and D. Ramirez, “Estudio De Mercado Para La Creación De Una Empresa Productora Y Comercializadora De Leche Y Queso En El Departamento De Nariño.,” 2022.
- [8] H. Castro, “Estudio de viabilidad para la creación de una procesadora de leche pasteurizada,” p. 156, 2016.
- [9] M. A. AGUIRRE, “DETERMINACIÓN DEL PERFIL MICROBIOLÓGICO DE LA LECHE PASTEURIZADA A TRAVÉS DE SU LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN LA PLANTA PROCESADORA COLANTA - PLANETA RICA,” UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA, 2016. [Online]. Available: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/975>
- [10] A. El Haddad, “Diseño y dimensionamiento de una planta elaboradora de 90 . 000 Litros / Día de leche UHT en Freijeiro (A Coruña) TRABAJO FIN DE GRADO Autor : Adnane El Haddad Tutor : Santiago Benito Saez,” *Univ. Politécnica Madrid*, 2019.
- [11] P. Serrano, “Buenas Prácticas: puntos clave para obtener leche de calidad.,” 2019.
- [12] F. O. Díaz, J. M. Jiménez, and M. M. Martínez, “Diseño de estrategias para mejorar la competitividad de la industria láctea,” *Revista de Ingeniería*, no. 43. pp. 40–45, 2015. doi: 10.16924/riua.v0i43.865.
- [13] M. Yitbarek and B. Tamir, “Mycotoxines and / or Aflatoxines in Milk and Milk Products : Review,” *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–32, 2013.
- [14] S. Tadesse, T. Berhanu, and A. Z. Woldegiorgis, “Aflatoxin M1 in milk and milk products

- marketed by local and industrial producers in Bishoftu town of Ethiopia,” *Food Control*, vol. 118, no. June, p. 107386, 2020, doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107386.
- [15] W. P. McCarthy *et al.*, “Application of nanofiltration for the removal of chlorate from skim milk,” *Int. Dairy J.*, vol. 128, p. 105321, 2022, doi: 10.1016/j.idairyj.2022.105321.
- [16] L. Kolarič and P. Šimko, “Application of β -cyclodextrin in the production of low-cholesterol milk and dairy products,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 119, no. January 2021, pp. 13–22, 2022, doi: 10.1016/j.tifs.2021.11.023.
- [17] V. Galli, M. Venturi, E. Mari, S. Guerrini, and L. Granchi, “Gamma-aminobutyric acid (GABA) production in fermented milk by lactic acid bacteria isolated from spontaneous raw milk fermentation,” *Int. Dairy J.*, vol. 127, p. 105284, 2022, doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105284.
- [18] A. Başaran, T. Yılmaz, Ş. T. Azgın, and C. Çivi, “Comparison of drinking milk production with conventional and novel inductive heating in pasteurization in terms of energetic, exergetic, economic and environmental aspects,” *J. Clean. Prod.*, vol. 317, no. July, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128280.
- [19] Monteros and Rodriguez, *Economista Tema* : “ *Propuesta De Factibilidad Para La Atacquepa En La Parroquia Olmedo Cantón Cayambe .* ” 2013.
- [20] M. Madoumier, C. Azzaro-Pantel, and G. Gésan-Guiziu, “Including cleaning and production phases in the eco-design of a milk evaporation process,” *Food Bioprod. Process.*, vol. 123, pp. 427–436, 2020, doi: 10.1016/j.fbp.2020.07.023.

- [21] C. E. Robles-Rodríguez, E. Szymańska, T. Huppertz, and L. Özkan, “Dynamic modeling of milk acidification: an empirical approach,” *Food Bioprod. Process.*, vol. 128, pp. 41–51, 2021, doi: 10.1016/j.fbp.2021.04.010.
- [22] D. F. Betancourt, “Capacidad de producción: ¿Qué es y cómo se calcula?,” *Ingenio empresa*, 2016. <https://www.ingenioempresa.com/capacidad-produccion-empresa/>
- [23] E. Ganadero, “Composición, síntesis y factores que afectan la cantidad y composición de la leche,” *BM Ed.*.
- [24] L. G. G. O. Alba Iris Nájera García, “Sales presentes en la leche,” *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 2015.
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/556>
- [25] L. F. Gallego, M. J. S. Lara, R. S. Bailón, and A. G. Hernández, “Compuestos nitrogenados de interés en nutrición química,” *Univ. Granada, Dep. Bioquímica y Biol. Mol. Fac. Farm.*.
- [26] D. J. Lozano, E. P. Bartolomé, R. V. Nadal, A. G. Fernández, E. Val, and Jauregui, “Estudio De Métodos De Selección De Conceptos,” *Xi Congr. Int. Ing. Proy.*, vol. 1, no. fase 2, pp. 1–10, 2007, [Online]. Available:
<http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/82247/Estudio+de+metodos+de+seleccion+de+conceptos.pdf?sequence=1>
- [27] E. Paredes-Maas, R. Monroy-Hernández, J. F. Chávez-Dehesa, F. Guevara-Hernández, E. Castro-Ehuan, and J. M. Zaldívar-Cruz, “Análisis de Costos en la Producción de Quesos Artesanales. Estudio de Caso: Quesería el Bejucal,” *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*,

vol. 5, no. 10, pp. 1222–1247, 2019, doi: 10.5377/ribcc.v5i10.8969.

- [28] L. CAMEROS, “SECRETOS DE LA LECHE,” *cultura del queso*, 2022.
<https://www.loscameros.es/cultura-queso/secretos-de-la-leche/>
- [29] A. S. M. Abraham Villegas de Gante, *MANUAL BÁSICO PARA ELABORAR PRODUCTOS LÁCTEOS*. trillas, 2015.
- [30] C. R. LAURA CARVAJAL, “PRODUCCIÓN DE LECHE DESLACTOSADA A PARTIR DE LECHE FRESCA,” 2017. [Online]. Available: <https://pdfcoffee.com/leche-deslactosada-2-pdf-free.html>
- [31] M. D. L. P. SOCIAL, *DECRETO NUMERO 616 DE 2006*. 2006, p. 32. [Online]. Available: <https://www.ica.gov.co/getattachment/15425e0f-81fb-4111-b215-63e61e9e9130/2006d616.aspx>
- [32] J. S. R. Suarez, “El Quesillo: un queso colombiano de pasta hilada,” 2010.
- [33] U. de Innovación, “Composición fisico-química de la leche”.
- [34] S. Ariza, “Inoxpa Colombia SAS,” 2022.
- [35] M. J. D. C. MARIA AUXILIADORA NUÑES CASTRO, JENIFFER CAROLINA SOTOMAYOR DUQUE, “DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA LECHE,” 2008. [Online]. Available: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7574/2/Tesis Determinacion de los Costos de Calidad en el Proceso Productivo de la Leche.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7574/2/Tesis%20Determinacion%20de%20los%20Costos%20de%20Calidad%20en%20el%20Proceso%20Productivo%20de%20la%20Leche.pdf)

Apéndices.

Apéndice 1. Descripción del proceso para elaborar leche deslactosada.

- **Recepción de la leche cruda:** la materia prima es llevada por los proveedores hasta el centro de acopio en cantinas de aluminio y de plástico, esta se filtra para eliminar impurezas o agentes contaminantes que podrían estar presentes antes de empezar el proceso de elaboración. Se hace una medición de sólidos solubles colocando una gota de leche cruda en el refractómetro digital, como también se debe determinar la densidad (probeta y termolactodensímetro), hacer una prueba de acidez (Bureta modelo tritette tipo digital, vaso de precipitado junto a un indicador fenolftaleína) y medir su pH (potenciómetro) [29], control de calidad y recepción de materia prima, la leche solo es aceptada siempre y cuando cumpla todos los criterios establecidos en el decreto 616 de 2006 propuesto por el Ministerio de la Protección Social.
- **Calentamiento:** luego de haber hecho el acondicionamiento de la leche y aprobarla para someterla a un procesamiento, se hace pasar por un intercambiador de placas donde se eleva la temperatura hasta 55°C con el fin de disminuir la viscosidad de la leche y que la siguiente etapa (clarificación) sea más eficiente [30].
- **Clarificación:** esta etapa del proceso se hace para separar las partículas sólidas e impurezas que traiga la leche fresca [30].
- **Estandarizado:** en esta etapa se mezcla leche descremada al 0,5% de grasa y leche entera al 3,6% de grasa para obtener leche estandarizada al 2% [30].
- **Homogenización:** es un proceso donde se evita la separación de la nata y conlleva a una distribución uniforme de la materia grasa. El diámetro de los glóbulos grasos pasará de un

tamaño de 10 a 1 micrómetros, esto se consigue haciendo pasar la leche por ranuras pequeñas a alta presión.

- **Tratamiento UHT:** este proceso térmico UHT tiene un precalentamiento, una esterilización a un rango de temperatura ultra alta entre 135°C a 150°C y tiempos entre 2 a 4 segundos, con este paso se tiene el fin de eliminar eficazmente gérmenes susceptibles de desarrollo en la leche; y un enfriamiento posterior muy corto, dando como resultado a un producto de larga vida [31].

Hay varias formas de realizar este tratamiento térmico:

Sistemas directos: donde el producto entra en contacto directamente con el líquido empleado para la esterilización.

Sistemas indirectos: la transferencia de calor se da a través de intercambiadores de calor tubulares o de placas, el producto nunca tiene contacto con el fluido calor portador.

Sistemas mixtos: es una combinación de los dos sistemas mencionados anteriormente [35].

- **Adición de lactasa:** esta etapa del proceso se logra agregando 6 ml de enzima lactasa por cada litro de leche, el propósito de esta adición es que la lactosa se divida en glucosa y galactosa haciendo más digerible el producto para las personas que no toleren la lactosa.
- **Envasado:** finalmente se llena el producto en los respectivos envases, este paso se debe hacer en condiciones asépticas. Es decir en condiciones estériles y el equipo hermético, dotados de mecanismo de esterilización del empaque antes del llenado [35].

Apéndice 2. Descripción del proceso para elaborar queso campesino.

Los datos suministrados en este proyecto son datos estandarizados ya que hay muchos procesos para este tipo de queso y se manejan diferentes rangos.

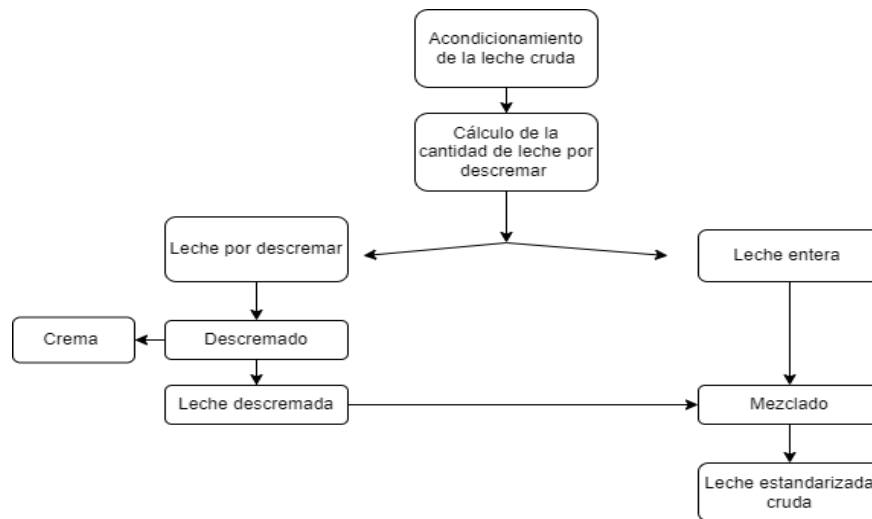
- **Acondicionamiento de la leche:** la materia prima es llevada por los proveedores hasta el centro de acopio en cantinas de aluminio y de plástico, esta se filtra para eliminar impurezas o agentes contaminantes que podrían estar presentes antes de empezar el proceso de elaboración. Se hace una medición de sólidos solubles colocando una gota de leche cruda en el refractómetro digital, como también se debe determinar la densidad (probeta y termolactodensímetro), hacer una prueba de acidez (Bureta modelo tritette tipo digital, vaso de precipitado junto a un indicador fenolftaleína) y medir su pH (potenciómetro)[29], control de calidad y recepción de materia prima, la leche solo es aceptada siempre y cuando cumpla todos los criterios establecidos en el decreto número 616 de 2006 propuesto por el ministerio de la protección social.
- **Estandarización:** hay muchos factores que afectan las estructuras del contenido de la leche, las que más varían son las de reserva, estas hacen referencia al contenido de grasa de la leche. Este paso consiste en ajustar o controlar la grasa para mantener un producto constante y de calidad. Existen 3 métodos para estandarizar la grasa de la leche: adición de nata o crema a la leche, desnatado natural parcial y descremado mecánico parcial. Este último será el empleado en este proyecto.

El descremado mecánico parcial permite disminuir el contenido de grasa de la leche, para este proceso es necesario una descremadora, saliendo de esta dos flujos, uno de crema y otro de leche descremada, de manera más directa es pasar parte de la leche cruda por la

descremadora y esta leche descremada mezclarla al final con la parte restante de la leche cruda consiguiendo reducir la grasa de la leche, obteniendo una leche de proceso de buena calidad tecnológica que de buenos productos de alta calidad sensorial y prolongada vida de anaquel.

Figura 1

Diagrama de proceso de descremado mecánico parcial.



Nota. Diagrama donde se incluyen las etapas del proceso de descremado mecánico parcial, proceso empleado para la estandarización de la leche. Adaptado de [29].

Para calcular la cantidad de leche a descremar se recomienda ajustar o estandarizar entre 2.8 y 3% el contenido de grasa de la leche [29].

- **Pasteurización:** este es un proceso destinado a eliminar completamente la microflora patógena de la leche, disminuir considerablemente la microflora banal y destruir alto porcentaje de enzimas deterioradoras (lipasas), como también es un proceso basado en la destrucción de *Mycobacterium tuberculosis*, este es el patógeno más termo resistente de la leche.

Existen dos tipos de pasteurización:

Lenta, LTLT (Low temperature, long time): este tipo se utiliza para tratar volúmenes pequeños de 20 a 1000 litros, se emplea en micro y pequeñas industrias. La temperatura a la cual se debe trabajar es de 63°C por 30 min.

Rápida, HTST (High temperature, short time): este tipo se utiliza para tratar grandes volúmenes de materia prima, miles de litros. La temperatura a la cual se debe trabajar es de 73°C por 15 segundos.

El equipo que se utiliza en esta parte del proceso es una marmita en acero inoxidable. Para las micro y pequeñas industrias se recomienda utilizar el proceso lento o también denominado discontinuo que consiste en calentar y mantener la leche a 63°C durante 30 minutos; después de realizar la pasteurización se debe continuar con un enfriamiento con una agitación continua hasta llegar a una temperatura de 32°C con el propósito de obtener una temperatura adecuada para el cuajado[29].

- **Adición de cloruro de calcio ($CaCl_2$):** el calcio en forma de ion es parte constituyente de las micelas que forman el queso. Cuando ocurre el proceso de pasteurización este mineral se insolubiliza por lo que hay que recuperarlo en esta parte del proceso. Se recomienda adicionar de 10 a 20 g por cada 100 litros de leche. La adición del $CaCl_2$ puede ser de forma sólida o en una solución[29].
- **Ajuste de acidez:** la acidez de la leche es fundamental a la hora efectuarse la coagulación de la leche, la enzima renina es más eficaz a mayor acidez. El grado de acidez tiene bastante influencia en la textura y maduración del queso; sin embargo, una acidez excesiva repercute con un sabor amargo, quesos secos, textura quebradiza, etc. Este ajuste de acidez se puede efectuar por tres métodos:

Acidificación directa: se utiliza ácidos orgánicos con el fin de mejorar ciertas cualidades de los alimentos, subiendo los niveles de acidez, se puede emplear ácido láctico o acético. Cualquiera de estos dos se agrega a la leche pasteurizada, sin embargo, el ácido acético es más costoso que el ácido láctico.

La cantidad de ácido acético por agregar se calcula utilizando la Ecuación 1 mostrada a continuación:

$$0,068 * \text{Litros de Leche} * (D_{\text{finales}} - D_{\text{iniciales}}) \quad (\text{Ec. 1})$$

Acidificación por vía fermentativa: este proceso se lleva a cabo por la acción de bacterias ácido lácticas (BAL) presentes o adicionadas, la leche adquiere acidez gradualmente hasta un nivel adecuado dependiendo del tipo de queso que se vaya a elaborar. Consiste en inocular o sembrar microorganismos lácticos en la leche pasteurizada y esperar hasta que llegue a la acidificación adecuada, el tiempo de espera puede ser entre algunos minutos y varias horas.

Acidificación mixta: proceso por el cual se acidifica por fermentación láctica primeramente y después por adición de ácido láctico.

La adición de CaCl_2 y el ajuste de acidez se realiza en la tina de cuajo como también el cuajado y el corte[29].

- **Cuajado:** proceso en el cual se forma el gel y tras varias operaciones conlleva a la formación de la cuajada o queso propiamente dicho, a través de las estructuras funcionales (caseína) de la leche. El cuajo se debe agregar cuando la leche este a una temperatura de 32°C y se homogeniza hasta cinco minutos, luego se deja reposar entre 30 a 40 minutos para lograr un punto óptimo de cuajo. Existen dos tipos de adición de cuajo

Cuajado enzimático: se adiciona bajo las especificaciones del proveedor

Cuajado mixto[29].

En la Ecuación 2, se muestra el proceso del cálculo para los ml de cuajo que se deben adicionar a los litros de leche:

$$\frac{(\text{Litros de leche} * \text{ml de cuajo requerido})}{100} \quad (\text{Ec. 2})$$

- **Cortado:** este paso tiene como propósito elevar el contacto de la superficie de exudación, facilitar y favorecer la eliminación del suero. Para procesos industriales y poder ejecutar este paso se requiere como elemento de trabajo liras que pueden ser de tipo horizontal o vertical la cual se encargara de cortar la cuajada en trozos pequeños aproximadamente de 1 cm y se deja reposar de 3 a 5 minutos para que se separe el suero de la cuajada[29].
- **Desuerado:** este proceso se realiza para crear las condiciones de compactación de la pasta y evitar formación de microorganismos. Se debe calentar hasta una temperatura entre 38 y 40°C mientras se agita lenta y constantemente hasta obtener una cuajada firme y posterior a este paso se la coloca en un filtro tratando de retirar el exceso de suero sin problema[29].
- **Salado:** este paso tienes fines importantes:
 1. Controlar el crecimiento de microorganismos, específicamente retardar la proliferación de los gérmenes indeseados.
 2. Favorecer el desuerado de la cuajada
 3. Mejorar el sabor de producto.

Para este proceso se tiene 3 técnicas:

Salado en masa: agregando sal sólida, la cual se calcula empleando la Ecuación 3.

$$\text{Litros de leche} * \left(\frac{\text{gr de sal}}{100 \text{ ml de leche}} \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

Salado en suero y salado en superficie.

Adicionalmente se debe desintegrar la cuajada en pequeños grumos para que al momento de moldearlo mantenga una buena compactación y al retirarle los moldes tenga un buen moldeado, los equipos utilizados para estos procesos son una mesa de acero inoxidable y moldes[29].

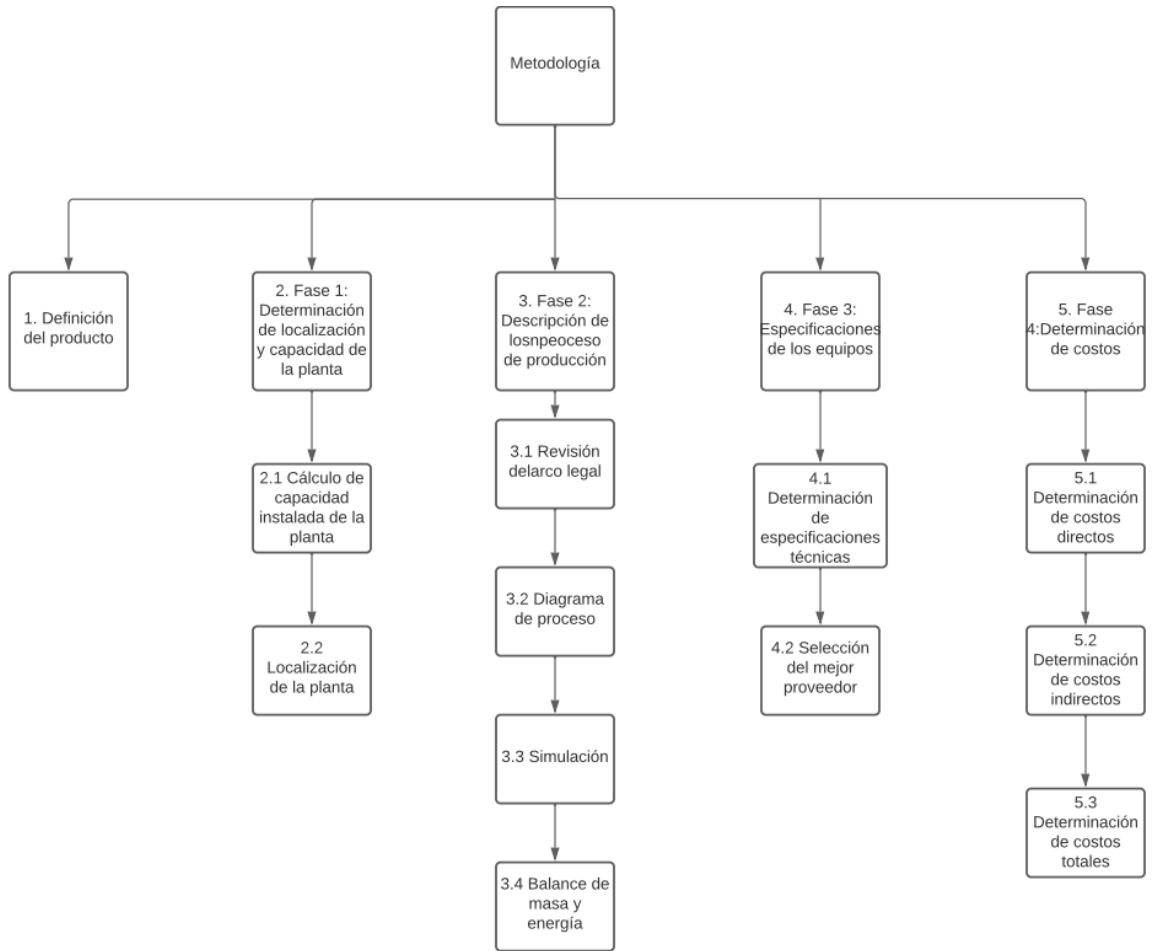
- **Prensado:** el propósito de este proceso es compactar la masa del queso y eliminar el suero sobrante, se puede realizar por la misma presión de la masa o por la aplicación de una fuerza externa[29].
- **Empacado y almacenado:** se procede a empacar al vacío con el fin de evitar la desintegración del molde y posteriormente su distribución para los puntos de ventas. Se debe almacenar en un lugar que tenga una temperatura de 4°C[29].

Apéndice 3. Descripción del proceso para elaborar queso doble crema.

Para la producción de queso doble crema las etapas de acondicionamiento, estandarización (3,3% de contenido graso), pasteurización, adición de cloruro de calcio, ajuste de acidez (añadir suero láctico que permite subir la acidez de la leche de 18°D hasta 45°D), cuajado son iguales a las que se nombra en la producción de queso campesino. Después del cuajado se debe cortar la cuajada y aplicarle un leve presión sin llegar a romperla o desmenuzarla por todos los lados posibles cada dos a tres minutos con el fin de liberarla de la mayor parte del suero que esta contiene, hasta tener las siguientes características de 39,5°D a 45°D y un pH entre 5,2 a 5,3 para continuar con la siguiente etapa que es el hilado[32].

- **Hilado:** este proceso se realiza mediante la aplicación directa de calor. Para esto se utiliza una paila de acero inoxidable donde se coloca la cuajada, u otro recipiente apto para este proceso, se agrega sal en una proporción del 1,5%. La cuajada de caliente, con ayuda de una pala de madera o teflón, se voltea y se gira hasta lograr una gran elasticidad sin romperse brillante, sin grumos y lisa. El tiempo promedio en esta etapa es de 25 minutos alcanzando una temperatura promedio entre 70°C y 84°C[32].
- **Moldeo reposo y empacado:** terminado el proceso de hilado, la cuajada se la coloca en un mesón de acero inoxidable, se moldea acorde a las necesidades del mercado normalmente en bloques de 2,5 kg, sin embargo, en el mercado se lo puede encontrar tajado o rallado. El almacenamiento debe ser en un cuarto frio a una temperatura de 3°C a 4°C[32].

Apéndice 4. Diagrama de la metodología



Apéndice 5. Estudio de Mercados

- Documento adjunto en formato PDF.

Apéndice 6. Simulación leche deslactosada

- Documento adjunto en formato Aspen Plus.

Apéndice 7. Simulación leche entera

- Documento adjunto en formato Aspen Plus.

Apéndice 8. Simulación quesos

- Documento adjunto en formato Aspen Plus.