

Proyecto aplicado: Caracterización química y técnica del lactosuero ácido para su aprovechamiento como materia prima en la industria de alimentos.

Erika Marcela Pineda

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD
Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería - ECBTI
Ingeniería de alimentos
2023

Proyecto aplicado: Caracterización química y técnica del lactosuero ácido para su aprovechamiento como materia prima en la industria de alimentos.

Erika Marcela Pineda

Trabajo de grado presentada como requisito parcial para optar el título de:
Ingeniero de alimentos

Director:

Mag. Golda Meyer Torres Vargas

Línea de Investigación:

ingeniería de procesos en alimentos y biomateriales

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería de alimentos

2023

Dedicatoria

Existen dos valores que me han ayudado a ser resiliente ante cualquier situación: la fe y la esperanza. Pero estos no trabajan por sí mismos, en todo momento hay que alimentarlos y aportar un grano de arena con actos de amor y nobleza para seguir esparciendo el mensaje a tu alrededor.

Dedicado a mí misma, por lograr el cumplimiento de una meta personal, por aprender a conocerme en mis capacidades y actitudes, en mis límites y en mis miedos, a terminar lo que se inicia y especialmente a perseverar.

A mi hija Laura Valentina, por ser mi complemento y la luz de mi vida; a mi madre Flor Alba Pineda, mi inspiración y ejemplo para formarme en una persona con valores y principios que nace para servir y sirve para vivir.

A mis hermanos que con palabras sabias me motivaron a continuar con este proyecto aún ante tantas murallas.

A mi directora de tesis. Mgtr. Golda Meyer Torres, mis agradecimientos y bendiciones por haber depositado sus conocimientos, su tiempo y ante todo su amor como segunda madre, amiga y tutora.

Agradecimientos

¡Gracias al Dios padre Todopoderoso por darme la vida, concederme las bendiciones del amor, la salud y la familia, gracias virgen santísima por tu intersección.

Gracias a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por haberme colocado en mi camino a mi directora de grado. Golda Meyer Torres; a quien le doy gracias por su paciencia, por su eficiencia y eficacia en la metodología de aprendizaje, en su carisma para motivarme a culminar la carrera de ingeniería de alimentos, mil gracias por sus palabras y su apoyo incondicional...

Resumen

El presente proyecto aplicado tuvo la finalidad de aportar en el valor agregado nutricional que tiene el lactosuero ácido de las nueve empresas procesadoras de queso doble crema del municipio de Belén Boyacá con la caracterización fisicoquímica y el estudio de proyección técnica para el aprovechamiento como materia prima en la elaboración de una bebida láctea a base de suero ácido. La investigación se realizó en tres fases: En la fase I se determinó la comparación de los resultados obtenidos con el equipo analizador de leches ultrasónico ref. lactoscan sp milkotronic y los obtenidos por procedimientos analíticos de referencia, para las determinaciones de grasa (%), sólidos totales (%), SNG (%), proteína (%), lactosa (%), pH, cenizas totales (%m/m), calcio (mg/100g), densidad (Kg/m³) y acidez como ácido láctico (%m/m). Realizados en las instalaciones del laboratorio de Química del CEAD de Duitama. Para la fase II se ejecutó la caracterización fisicoquímica por medio del equipo analizador de leches ultrasónico, estos resultados obtenidos fueron comparados con los valores permitidos y estipulados en la Resolución 2310:1986 y estudios similares en aquellas determinaciones que no se consideran dentro de la misma normatividad. En la fase III se evaluó el estudio técnico para el uso del lactosuero ácido como materia prima en la elaboración de una bebida láctea fermentada a base de suero, mediante la matriz de priorización que identifica, selecciona el o los productos que conformaron la línea de nuevos productos a base lactosuero ácido, como también la proyección técnica que abarco: La localización, cálculo de la capacidad instalada, descripción del producto y del proceso productivo en diez (10) etapas con la intervención de procesos unitarios y la determinación de recursos como el costo energético por medio del balance y energía, la identificación de recursos, obras físicas y control de calidad.

Palabras clave: Lactosuero, lactoscan, caracterización, fisicoquímica, aprovechamiento, subproducto lácteo.

Abstract

The present applied project had the purpose of contributing to the nutritional added value of the acid whey of the nine double cream cheese processing companies of the municipality of Belén Boyacá with the physicochemical characterization and the study of technical projection for the use as raw material in the elaboration of a dairy drink based on acid whey.

The investigation was carried out in three phases: In phase I, the comparison of the results obtained with the ultrasonic milk analyzer equipment ref. lactoscan sp milkotronic and those obtained by reference analytical procedures, for the determinations of fat (%), total solids (%), SNG (%), protein (%), lactose (%), pH, total ash (%m/ m), calcium (mg/100g), density (Kg/m³) and acidity as lactic acid (%m/m). Carried out in the facilities of the Chemistry laboratory of the CEAD of Duitama. For phase II, the physicochemical characterization was carried out by means of the ultrasonic milk analyzer equipment, these results obtained were compared with the values allowed and stipulated in Resolution 2310:1986 and similar studies in those determinations that are not considered within the same regulations. In phase III, the technical study for the use of acid whey as raw material in the preparation of a fermented milk drink based on whey was evaluated, through the prioritization matrix that identifies and selects the product(s) that made up the line of new products based on acid whey, as well as the technical projection that included: The location, calculation of the installed capacity, description of the product and the production process in ten (10) stages with the intervention of unitary processes and the determination of resources such as the cost energy through the balance and energy, the identification of resources, physical works and quality control.

Keywords: Whey, lactoscan, characterization, physicochemical, use, dairy by-product.

Contenido

Introducción	15
Planteamiento del problema	18
Justificación	21
Objetivos	24
Objetivo general.....	24
Objetivos específicos	24
Marco referencial.....	25
Tipos de lactosuero	25
Tecnologías aplicadas para el aprovechamiento del lactosuero.	27
Biomoléculas presentes en el lactosuero.....	28
Características fisicoquímicas.....	32
Métodos automatizados para el análisis de suero de leche	34
Validación de métodos de laboratorio	37
Estudio de factibilidad técnica	45
Revisión estado del arte	47
Metodología	49
Métodos.....	50
Fases de la investigación.....	51
Fase I: comparación de métodos.....	51
Fase II. Caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos	51
Fase III. Evaluación de alternativas de uso del lactosuero ácido- estudio de factibilidad tecnológica	53
Análisis estadístico	54

Fase I: comparación de métodos.....	54
Fase II. Caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos	55
Resultados.....	58
Fase I: comparación de métodos.....	58
Fase II. Caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos	58
Fase III. Evaluación de alternativas de uso del lactosuero ácido- estudio de factibilidad tecnológica	59
Discusión de los resultados.....	62
Fase I: comparación de métodos.....	62
Fase II. Caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos	64
Fase III. Evaluación de alternativas de uso del lactosuero ácido- estudio de ...factibilidad tecnológica	78
Conclusiones	156
Fase I: comparación de métodos.....	156
Fase II. Caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos.	157
Fase III. Evaluación de alternativas de uso del lactosuero ácido- estudio de factibilidad tecnológica.	158
Recomendaciones	160
Referencias Bibliográficas.....	161
Apendices	¡Error! Marcador no definido.

Listado de tablas

Tabla 1	<i>Composición típica de suero ácido y suero dulce</i>	25
Tabla 2	<i>Composición del lactosuero y principal actividad biológica de sus proteínas</i>	28
Tabla 3	<i>Determinaciones fisicoquímicas y métodos de referencia realizados por el laboratorio externo</i>	51
Tabla 4	<i>Análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de lactosuero ácido</i>	52
Tabla 5	<i>Parámetros y estadísticas para la comparación entre métodos de laboratorio</i>	55
Tabla 6	<i>Estadísticos para la verificación de la precisión, exactitud y correlación entre los resultados obtenidos por el equipo analizador de leches ultrasónico ref. Lactoscan y métodos de referencia</i>	58
Tabla 7	<i>Características fisicoquímicas de los sueros ácidos generados a partir del queso doble crema</i>	59
Tabla 8	<i>Criterios de evaluación para la selección de una línea de nuevos productos en base al lactosuero ácido</i>	60
Tabla 9	<i>Criterios de puntuación matriz de priorización</i>	61
Tabla 10	<i>Matriz de priorización producto a desarrollar a partir de lactosuero</i>	61
Tabla 11	<i>Ubicación de empresas procesadoras de queso doble crema en el municipio de Belén</i>	80
Tabla 12	<i>Cantidad de suero obtenido por empresas productoras de queso doble crema</i>	81
Tabla 13	<i>Formulación propuesta para elaborar una bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido derivado de la producción del queso doble crema</i>	81
Tabla 14	<i>Producción anual</i>	83
Tabla 15	<i>Materia prima e insumos para la elaboración de la bebida láctea fermentada</i>	87
Tabla 16	<i>Características de la leche cruda</i>	90
Tabla 17	<i>Composición de suero dulce y suero ácido</i>	91
Tabla 18	<i>Requisitos microbiológicos generales del lactosuero</i>	92

Tabla 19 <i>Requisitos para el azúcar blanco</i>	92
Tabla 20 <i>Características Fisicoquímicas y microbiológicas del producto</i>	94
Tabla 21 <i>Variables a controlar en la etapa de recepción de la leche</i>	99
Tabla 22 <i>Balance de materia para la recepción de la leche cruda</i>	100
Tabla 23 <i>Variables a controlar en el almacenamiento refrigeración y pasteurización del lactosuero</i>	104
Tabla 24 <i>Balance de materia en la caracterización del lactosuero ácido</i>	105
Tabla 25 <i>Variables a controlar en el descremado de la leche</i>	110
Tabla 26 <i>Balance de materia para el descremado de la leche entera</i>	110
Tabla 27 <i>Variables a controlar en la adición de azúcar y estabilizante</i>	113
Tabla 28 <i>Balance de materia para la adición de azúcar y estabilizante</i>	113
Tabla 29 <i>Variables en el proceso de pasteurización y choque térmico</i>	116
Tabla 30 <i>Balance de materia para la etapa de pasteurización y choque térmico</i>	117
Tabla 31 <i>Variables a controlar en la etapa de inoculación</i>	122
Tabla 32 <i>Balance de materia en la inoculación</i>	123
Tabla 33 <i>Variables a controlar en la fermentación</i>	125
Tabla 34 <i>Balance de materia en la fermentación</i>	126
Tabla 35 <i>Variables a controlar en el enfriamiento</i>	128
Tabla 36 <i>Balance de materia para la etapa de enfriamiento de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido</i>	129
Tabla 37 <i>Variables a controlar en la preparación y adición de la salsa de fruta y/o saborizante</i>	132
Tabla 38 <i>Balance de materia en la adición de la salsa de fruta y/o saborizado</i>	133
Tabla 39 <i>Variables a controlar en el envasado de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido</i>	137

Tabla 40 <i>Balance de materia en el envasado de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido</i>	138
Tabla 41 <i>Balance total de energía para cada equipo requerido en cada una de las etapas de procesamiento de la bebida láctea fermentada.</i>	143
Tabla 42 <i>Áreas requeridas para la adecuación y distribución del área de proceso de elaboración de la bebida láctea fermentada</i>	145
Tabla 43 <i>Costos toma de muestras para producto, lactosuero, agua y personal manipulador por laboratorio externo</i>	148
Tabla 44 <i>Tabla nutricional de la bebida láctea fermentada</i>	149
Tabla 45 <i>Costo mano de obra</i>	150
Tabla 46 <i>Dotación para el personal manipulador de alimentos</i>	150
Tabla 47 <i>Costo Registro sanitario del producto</i>	151
Tabla 48 <i>Costos equipos de oficina y servicios de luz y agua</i>	151
Tabla 49 <i>Costos materiales de construcción</i>	151
Tabla 50 <i>Reporte de puntos críticos de control para el procesamiento de la bebida láctea fermentada</i>	154

Lista de figuras

Figura 1	<i>Tecnologías aplicadas al aprovechamiento de lactosuero</i>	27
Figura 2	<i>Analizador infrarrojo para leche DMA</i>	35
Figura 3	<i>Analizador de leche Ekomilk Ultra pro</i>	36
Figura 4	<i>Analizador de leches ultrasónico. Lactoscan sp milkotronic</i>	37
Figura 5	<i>Muestras de lactosuero ácido para análisis fisicoquímicos</i>	49
Figura 6	<i>Registro fotográfico caracterización fisicoquímica de muestras de lactosuero ácido</i>	52
Figura 7	<i>Gráficos de control de calidad, (gráficos -X) para cada una de la determinación fisicoquímica de las muestras de lactosuero ácido</i>	67
Figura 8	<i>Mapa División Política Belén Boyacá</i>	79
Figura 9	<i>Ubicación de las empresas productoras de queso doble crema en el Municipio de Belén</i>	79
Figura 10	<i>Etiqueta para la bebida láctea fermentada a base de leche suero y cultivos probióticos con dulce de mora</i>	84
Figura 11	<i>Diagrama de bloques para la elaboración bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido</i>	88
Figura 12	<i>Origen y obtención de la leche</i>	89
Figura 13	<i>Diagrama de flujo elaboración del queso doble crema, obtención del lactosuero ácido</i>	91
Figura 14	<i>Diagrama de flujo del proceso de elaboración bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido</i>	96
Figura 15	<i>Diseño de la línea de producción bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido con características similares al yogurt</i>	98
Figura 16	<i>Etapa de recepción de leche fresca</i>	99
Figura 17	<i>Sistema de almacenado y refrigerado propuesto para cada uno de los tanques de almacenamiento de leche cruda</i>	101

Figura 18	<i>Sistema de almacenado y refrigerado para el tanque de lactosuero.</i>	103
Figura 19	<i>Sistema de almacenado y refrigerado para el tanque de lactosuero acido</i>	106
Figura 20	<i>Tanque de almacenamiento, refrigeración y pasteurizado del lactosuero acido</i>	108
Figura 21	<i>Descremado de la leche entera en el proceso de elaboración de la bebida láctea.</i>	109
Figura 22	<i>Descremado de la leche entera</i>	111
Figura 23	<i>Balance de energía en la adición de azúcar 20% y estabilizante a la mezcla (leche descremada y lactosuero)</i>	114
Figura 24	<i>Balance de energía para los tanques de mezcla y pasteurización.</i>	119
Figura 25	<i>Balance de energía para los tanques de mezcla y pasterización en el choque térmico</i>	119
Figura 26	<i>Balance de energía para los tanques en la etapa de inoculación</i>	123
Figura 27	<i>Balance de energía para los tanques de fermentación</i>	127
Figura 28	<i>Balance de energía para la etapa de enfriamiento de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido</i>	130
Figura 29	<i>Balance de energía para la cocción de la salsa de fruta</i>	134
Figura 30	<i>Balance de energía para la adición de salsa de fruta a la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido.</i>	136
Figura 31	<i>Balance de energía para el transporte de la bebida láctea fermentada desde los tanques de enfriamientos a la envasadora.</i>	138
Figura 32	<i>Balance de energía para la envasadora</i>	140
Figura 33	<i>Almacenamiento bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido</i>	141
Figura 34	<i>Entradas y salidas con mermas en el diagrama de flujo de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido.</i>	142
Figura 35	<i>Plano descripción planta procesadora de bebida láctea fermentada</i>	147
Figura 36	<i>Estructura del sistema de inocuidad de las empresas lácteas en la elaboración de la bebida lactea fermentada a base de lactosuero acido</i>	152

Lista de apendices

Apéndice A Procedimiento de uso del Lactoscan	177
Apéndice B Marchas analíticas para las determinaciones de cenizas totales (%m/m), calcio (mg/100g) y acidez como ácido láctico (%m/m).....	178
Apéndice C Determinaciones estadísticas para la fase I: comparación de métodos.....	182
Apéndice D Resumen estadísticos prueba F y valor p, Fase I	185
Apéndice E Resultados de la caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos obtenidos por medio del equipo analizador de leches ultrasónico ref. lactoscan sp milkotronic, Fase II.	187
Apéndice F Pruebas de calidad de la leche en planta.....	196
Apéndice G Ficha técnica del cultivo Yomix 205.....	197
Apéndice H Ecuaciones requeridas para el balance de energía.....	198
Apéndice I Maquinaria y equipo requeridos en la elaboración de la bebida láctea fermentada a bade lactosuero ácido	199
Apéndice J Fichas técnicas de la maquinaria	200
Apéndice K Normatividad que aplica a las empresas procesadoras de bebidas lácteas fermentadas.....	203

Introducción

El sector lácteo de Colombia es de gran importancia para la economía nacional, actualmente representa el 0,83 % del PIB del país, el 9,1% del PIB del sector agrícola y el 24,3 % del PIB del sector ganadero, además de generar más de 700.000 empleos directos (Cecilia et.al., 2019, p.170). La producción de leche se encuentra en 22 departamentos del país, siendo Antioquia, Boyacá y Cundinamarca los departamentos más relevantes por lo que se registran más de 395.215 unidades de producción de leche, es decir casi 400.000 fincas de los cuales solo el 20% tiene más de 15 animales. En este contexto Colombia produce en promedio, 7.414 millones de litros de leche en el año 2022 (Fedegan, 2023). Así mismo en Colombia una de las actividades más relevantes en la industria láctea es la producción de queso, según datos del DANE la producción de queso doble crema para el año 2019 ascendió a los 1.624.473 kg y con base a este indicador, el lactosuero superara los 234 millones de kilogramos para el mismo año, cifra que debe ser mucho más alta ahora. Sin embargo, el uso tradicional de este subproducto en el país es para la alimentación del ganado, especialmente porcino.

Con base al argumento de Muñoz (2018, p.28) “Aproximadamente el 88-90% del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada en lactosuero y el 10% -12% en queso, por lo que en el procesamiento de queso coagulado con ácido, 1 kg de queso genera 10 L de suero ácido el cual contiene cerca del 55% del total de ingredientes de la leche como la lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales” (Rocha et. al. 2021, p.1263), por lo cual su costo de producción es alto y se obtiene muy poco rendimiento; pero además tiene un gran impacto ambiental, donde se producen 118×10^6 toneladas de lactosuero lo que equivale a $\sim 7 \times 10^6$ toneladas de sólidos y una DBO de 45.000 – 60.000 ppm que exceden los límites establecidos

por las normas ambientales, produciendo efectos adversos al medio ambiente como son flotación de grasas, formación de espuma, salinización y malos olores convirtiéndose en uno de los mayores contaminantes a nivel del mundo.

Por ello el objetivo de esta investigación es la caracterización química y técnica del lactosuero ácido para el aprovechamiento como materia prima en la industria de alimentos y una alternativa de valor agregado para varios productos alimenticios, con el propósito de aportar a la disminución considerable del impacto ambiental y las problemáticas sanitarias que esto genera para las empresas lácteas Belemitas. Como lo expone López et. al., (2018, p.101) “una reserva alimentaria de alto valor nutricional que brinda una oportunidad de desarrollo al sector agroindustrial y ampliará la base de consumo de derivados lácteos en el país, convirtiéndolo en un sustrato disponible de bajo costo útil para la industria colombiana”, en este contexto Patiño (2020, p.10) también indica que: “al lactosuero se le diera un uso sostenible que aproveche sus potencialidades, y genere ingresos adicionales a las empresas para lograr disminuir su impacto contaminante de manera más eficaz, contribuyendo al logro de mejoras o modificaciones en el proceso productivo, para que sea más eficiente y provechoso, generando así mayores beneficios para la empresa y el ambiente”, por lo tanto se identifica que el aprovechamiento sostenible para la valorización del suero desde la óptica de la investigación da un gran aporte a la comunidad, al medio ambiente y economía de la región.

El cumplimiento de los objetivos se llevó a cabo en tres fases. En la fase I se realizó una comparación de métodos, tomando 18 muestras de lactosuero cada una de 500 mL durante tres fechas de proceso (1, 15 y 30 días), se adquirió los servicios de un laboratorio externo certificado “Control microbiológico análisis de alimentos, aguas y bebidas S.A.S” para la determinación de grasa (%m/m), SNG (%), proteína (%m/m), lactosa (%m/m) y pH con el objetivo de contar con

resultados validados y de referencia.. Para establecer el efecto de los dos métodos de análisis sobre la caracterización del lactosuero los datos se analizaron por ANOVAS. En la fase II se determinó la caracterización fisicoquímica de grasa (%), sólidos totales (%), SNG (%), proteína (%), lactosa (%), pH, cenizas totales (%m/m), calcio (mg/100g), densidad (Kg/m³) y acidez como ácido láctico (%m/m), tomando 27 muestras en total cada una de 1000 mL durante tres fechas de proceso (1, 15 y 30 días), determinados en el equipo analizador de leches ultrasonic.

La fase III expone el estudio de proyección técnica para el aprovechamiento del subproducto suero en la elaboración de una bebida lactea fermentada a base de lactosuero acido seleccionada de acuerdo a los criterios de decisión de los resultados de la matriz de priorización aplicada por Torres (2020, p) y que además se realizó mediante vigilancia tecnológica en cuanto a los equipos y maquinaria requerida para llevar a cabo el o los procesos; igualmente involucra la localización, cálculo de la capacidad instalada, descripción del producto y del proceso productivo, identificación de recursos, obras físicas y control de calidad, el subproducto de lactosuero acido caracterizado fisicoquímicamente de las nueve empresas procesadoras de queso doble crema del municipio de Belén Boyacá aplica a una bebida lactea fermentada a base de suero acido con sabor a mora, previamente estandarizada.

Planteamiento del problema

En las últimas tres décadas, la producción mundial de leche ha aumentado más del 59%, pasando de 530 millones de toneladas en 1988 a 843 millones de toneladas en 2018 (FAO, 2023). La asociación Europea diaria en su reporte de economía Euromic (2020, p.4), afirma que en el 2018, la Unión Europea exportó alrededor de 600.000 toneladas de lactosuero a muchos países del mundo, especialmente Asia. De este modo las proyecciones de la OECD/FAO prevé que la producción mundial de leche aumentará a 175 millones de toneladas hacia el 2024, por lo que el queso seguirá siendo el producto lácteo más importante, representando alrededor del 40% de la leche elaborada en todo el mundo. Esta producción de queso trae consigo una mayor producción de lactosuero que está aumentando y su sub utilización se refleja en la degradación ambiental y pérdida de recursos económicos para las comunidades, por su afectación en la disposición en ríos y aguas servidas o directamente en el suelo (Asas et. al. 2021, p. 106).

A nivel nacional, Colombia produce 7.800 millones de litros de leche al año, de los cuales el 10% es suero. Cerca del 50% de esta producción proviene del sector informal, por lo que es difícil rastrear cómo usamos los casi 800 millones de litros de suero de leche en el país (Portalechero, 2023).

Hoy en día en la región de Boyacá se constituye la producción de leche con más del 50%, recolectada en las fincas por intermediarios o acopios de enfriadoras ubicadas dentro de la región, un 30% normalmente es procesada en quesos, mantequilla y demás derivados lácteos, y el 20% para consumo interno (Cepeda, 2020, p.18). Durante el procesamiento del lactosuero se produce residuos como la lactosa con un contenido del 4,80%, vista como problema ambiental y económico por la posible contaminación de fuentes de agua y el elevado costo de su

procesamiento en mano de obra e insumos; a esto se suma, la transformación del lactosuero líquido en polvo el cual genera corrientes de parmeado y otros compuestos que deben separarse antes de disponerlos como residuos. En este contexto el lactosuero plantea una problemática de contaminación por su alta demanda biológica de oxígeno de 35.000-45.000 mg/L y una demanda química de oxígeno de 60.000-80.000 mg/L. (Gómez y Sánchez, 2022, p.131).

Globalmente se resalta el valor comercial del lactosuero en el mercado el cual presenta una variedad de usos como se conoce hasta el día de hoy, en forma de polvo, concentrado, aislado de proteína y desmineralizado, gracias a las tecnologías de procesamiento, que incluye: La filtración, la precipitación, la centrifugación, la electrodiálisis, la microfiltración, la ultrafiltración, el intercambio iónico, la desmineralización, la diafiltración y la nanofiltración, para la aplicación industrial de dulces, lácteos, formulas infantiles y nutracéuticos (Tsermoula et. al., (2021, p 237); agregando su valor nutricional rico en minerales como: el calcio fósforo, magnesio, sodio, potasio, zinc, hierro, cobre y manganeso (Agualongo et. al., 2022, p.15).

En la provincia del Tundama en la parte media de la cordillera oriental se ubica el municipio de Belén Boyacá, distinguido por ser centro ganadero, cuyas razas son de avances genéticos conocidos como: El Normando, Holstein, Pardo Suizo, Ayrshire y Jersey: Con un promedio de producción de leche alrededor de 52.250 litros leche por día, de los cuales el 85% (44.413 litros/día) son aportados por el municipio, provenientes de zonas rurales y el 15% restante de comunidades vecinas, tales como: Cerinza, Beteitiva, Paz de Río, Sativa Norte, Sativa Sur, Susacón y Tutazá. Actualmente este municipio cuenta con 13 agroindustrias lácteas, que a diario elaboran queso doble crema (Alcaldía de Belén, 2023, p.38) y del cual se obtiene una alta disponibilidad del subproducto denominado lactosuero con una cantidad de 59.580 litros/día. De estas empresas se conoce que el 40% procesa el lactosuero en requesón, pero este proceso

también genera un segundo permeado, que es destinado para alimentación animal y en disposición al desagüe, se tiene evidencia visual que este segundo permeado es tirado a las aguas de alcantarillado, por lo que genera contaminación dado que este segundo suero es rico en lactosa, la cual no es fácil de degradar en suero ni en agua. El 60% de las empresas descreman el suero para extraer la mantequilla y ser destinado a la alimentación animal, paralelamente una minoría lo reprocessa en la elaboración de queso doble crema en reemplazo de la leche ácida para rendimiento quesero, desperdiciando el valioso contenido químico y nutricional del lactosuero.

Lo que se pretende con esta investigación es brindar una solución técnica e ingenieril para conocer el valor nutricional del lactosuero ácido obtenido en la etapa del proceso de desuerado de la elaboración del queso doble crema, por medio de la caracterización fisicoquímica para ser visto como materia prima primordial en la elaboración de una bebida Láctea fermentada a base de suero con sabor a mora, pero que además, presentar a las empresas un producto viable y promisorio que generará valor agregado, aportando beneficios transversales a las unidades productivas, lo que se verá reflejado en las ganancias del producto final.

Por lo tanto, en esta investigación, se formulan los siguientes interrogantes

¿Cómo la caracterización fisicoquímica de los sueros ácidos de las empresas lácteas de Belén (Boyacá) permite identificar y seleccionar las alternativas tecnológicas y/o productos finales con fines alimentarios para potencializar su aprovechamiento?

¿Cómo el desarrollo de un estudio técnico permite sustentar la factibilidad tecnológica de algunas de las alternativas y/o productos finales con fines alimentarios para potencializar su aprovechamiento?

Justificación

La justificación de este proyecto aplicado se centra en la caracterización fisicoquímica del lactosuero ácido para conocer el valor nutritivo de sus componentes y ser visto para el aprovechamiento como materia prima a través del estudio técnico e ingenieril en la elaboración de una bebida láctea a base de lactosuero ácido.

Actualmente este municipio cuenta con 13 agroindustrias lácteas, que a diario elaboran el 100% de queso doble crema (Alcaldía de Belén, 2023, p.38) y del cual se obtiene una alta disponibilidad del subproducto denominado lactosuero con una cantidad de 59.580 litros/día.

A pesar de que se desconoce el alto valor del lactosuero ácido, la producción por año de suero en el mundo se estima en 72 millones de toneladas, es decir que aproximadamente 200 mil toneladas de proteínas lácteas y 1,2 millones de toneladas de lactosa se transfieren al suero anualmente (Macwan et. al., 2016, p.23). Se evidencian estudios donde estas proteínas del suero incluyen actividad antioxidante con características antimicrobianas, inmunoestimulantes y anticancerígenas que reducción de la presión arterial y del riesgo de enfermedades cardiovasculares y osteoporosis (Skryplonek et. al., 2019, p.7773). Por otra parte se conoce que entre 4 y 11 millones de toneladas de este desechos son descargados en el medio ambiente, lo que genera graves problemas ambientales debido a su alto contenido de carbohidratos en alta demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno (Pires et. al., 2021, p.1), donde los microorganismos producen olores fétidos por putrefacción provocando la muerte por asfixia de la fauna de estos ecosistemas: A esto se suma que cuando es arrojado directamente al suelo se filtra hacia las aguas freáticas del subsuelo amenazando la salud de los animales y los humanos.

Es importante considerar que el suero posee la misma composición química en nutrientes que la leche por lo tanto se puede considerar como una materia prima promisoría de alto valor nutricional convirtiéndolo en un sustrato disponible de bajo costo útil para darle un

uso sostenible que aproveche sus potencialidades y genere ingresos adicionales, pero también que brinde una oportunidad de desarrollo al sector agroindustrial y amplíe la base de consumo de derivados lácteos en el país, por lo tanto se identifica que el aprovechamiento sostenible para la valorización del suero desde la óptica de la investigación y una propuesta de factibilidad tecnológica del proceso de elaboración de una bebida Láctea fermentada a base de suero ácido, mejorando la competitividad del sector lácteo colombiano (CONPES, 3675/2010), contribuir a la sostenibilidad de los territorios y al mismo tiempo implementar procesos para obtener diversas sustancias o productos de mayor valor agregado que da un gran aporte a la comunidad, al medio ambiente y economía de la región.

De estas empresas se conoce que el 40% procesa el lactosuero en requesón, pero este proceso también genera un segundo permeado, que es destinado para alimentación animal y en disposición al desagüe, se tiene evidencia visual que este segundo permeado es tirado a las aguas de alcantarillado, por lo que genera contaminación dado que este segundo suero es rico en lactosa, la cual no es fácil de degradar en suero ni en agua.

Actualmente se sabe que no todas las empresas cuentan con un tanque de almacenamiento y refrigeración, por lo que se sugiere implementarlo para este segundo permeado, el cual contiene un valor relativo de sólidos que puede ser conservado a una temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, para su posterior propósito.

El 60% de las empresas descreman el suero para extraer la mantequilla y ser destinado a la alimentación animal, paralelamente una minoría lo reprocesa en la elaboración de queso doble crema en reemplazo de la leche ácida para rendimiento queso, desperdiciando el valioso contenido químico y nutricional del lactosuero.

Para aprovechar plenamente los beneficios de este recurso desperdiciado, se a reformulado una bebida lactea a base de suero, que se apropia de las características nutricionales de este; para ser caracterizada hoy en día ante una demanda por consumidores sobre los efectos de una dieta en la salud y el bienestar, que por medio de sus bacterias probióticas de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* lo convierte en un alimento funcional; donde la fermentación del suero genera otras ventajas, como la disminución del contenido de lactosa, la hidrólisis parcial de la proteína del suero, el aumento de la vida útil debido al ácido láctico y la producción de compuestos aromáticos que mejoran las características sensoriales del producto final.

Objetivos

Objetivo general

Realizar la caracterización química y técnica del lactosuero ácido para el aprovechamiento como materia prima en la industria de alimentos.

Objetivos específicos

Realizar la validación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos por el equipo analizador de derivados lácteos ultrasónico LACTOSCAN® en términos de linealidad, precisión y exactitud con respecto al método de referencia de laboratorio.

Caracterizar física y químicamente a los lactosueros ácidos mediante equipo analizador de derivados lácteos ultrasónico LACTOSCAN® para la determinación de grasa (%), sólidos totales (%), SNG (%), proteína (%), lactosa (%) y pH. Mediante pruebas analíticas y de laboratorio cenizas totales (%m/m), calcio (mg/100g), densidad (Kg/m³) y acidez como ácido láctico (%m/m).

Determinar diferencias significativas través del análisis de varianza de los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos por el equipo analizador de derivados lácteos ultrasónico LACTOSCAN® y los métodos de referencia de laboratorio.

Identificar las alternativas tecnológicas a través del estudio técnico para determinar del uso del lactosuero ácido como materia prima en la elaboración de productos alimentarios.

Marco referencial

Con base a la definición de la resolución 2997 de 2007 el lactosuero es un subproducto del queso obtenido por la coagulación enzimática de las proteínas de la caseína utilizando quimosina (cuajo): El Invima, (1986, p.15) "lo define como un producto residual obtenido en la elaboración del queso o de la mantequilla": Y desde el punto de vista de Akal y Yetişemiyen (2016, p. 616), "es un líquido amarillo claro compuesto por un 94% de agua, 50% de los sólidos totales de la leche y lactosa, seguido de proteínas, minerales, nitrógeno no proteico y otros compuestos menores". Por lo tanto, se convierte en el subproducto más importante de la industria láctea. (Tsermoula et. al. 2021, p 230).

Tipos de lactosuero

Se cataloga como suero dulce o ácido, respectivamente. "Con una producción anual de queso de aproximadamente 23.579 kilo toneladas, se produce aproximadamente 12.211 kilo toneladas de suero al año" Fischer y Kleinschmidt (2021, p.1) y se clasifican en suero dulce y suero ácido como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.

Composición típica de suero ácido y suero dulce

Ingredientes	Suero ácido (g L ⁻¹)	Suero dulce (g L ⁻¹)
Sólidos Totales	63,0–70,0	63,0–70,0
Lactosa	44,0–46,0	46,0–52,0
Proteína	6,0–8,0	6,0–10,0
Contenido graso	0.4	5.0
Lactato	6.4	2.0
Ceniza	8.0	5.0
Calcio	1.2 – 1.6	0,4–0,6
Fosfato	2,0 – 4,5	1,0–3,0
cloruro	1.1	1.1

Nota: Las propiedades fisicoquímicas y los constituyentes del suero ácido y dulce son bastante similares. Fuente: Tomada de Karim y Aider (2022, p.3).

Suero dulce

Representa el 75% de la producción total de suero, siendo el resultado de la leche bovina que se calienta a 30-35 °C durante 5 min y se adiciona la enzima quimosina (9 mL / 10 L de leche), se deja reposar durante unos 40-60 min para la coagulación, permitiendo la separación del suero dulce con pH 6-7 y presentan una acidez superior a 50 grados Dormic, cuya composición fisicoquímica es: 92,95% de humedad, 5,14% de carbohidratos, 0,97% de proteína, 0,55% de cenizas y 0,39 de lípidos Ribeiro Sanches et al., (2021, p.2). Su aplicación se ha valorizado utilizando enfoques biotecnológicos para producir una serie de productos valiosos incluidos alimentos como: bebidas fermentadas y no fermentadas; biomasa, bioplásticos, biofertilizantes , biocombustibles, ácidos orgánicos , péptidos bioactivos, enzimas, biosurfactantes, proteínas unicelulares y polisacáridos (Chourasia et. al. 2022, p.1), otros: bioetanol , biobutanol, biometano, biodiesel , ácido cítrico , ácido succínico, ácido propiónico y ácido láctico. Proteína de suero, suero en polvo, permeado de suero (WP), bioproteína, biopolímeros, hidrógeno (Karim y Aider, 2022, p.2).

Suero ácido

Representa el 25% restante de la coagulación ácida, su procesamiento involucra la actividad de los lactobacilos a través de la fermentación o la adición de ácidos orgánicos como el ácido cítrico, acético o láctico, o ácidos minerales como el ácido clorhídrico o sulfúrico. "El AW se caracteriza por los valores de pH más bajos (entre 4,6 a 4,7)" Mendoza et. al., (2021, p.1262) y una acidez menor a 20 grados Dormic; Su composición incluye 6-8 g/L -1 de proteínas, 44-46 g/L -1 de lactosa y 4.3 a 7.2 g/L -1 de minerales (Wronkowska et al., 2018). La aplicación más común del suero ácido es para fertilizante, alimentación animal, gas metano, agua posteriormente

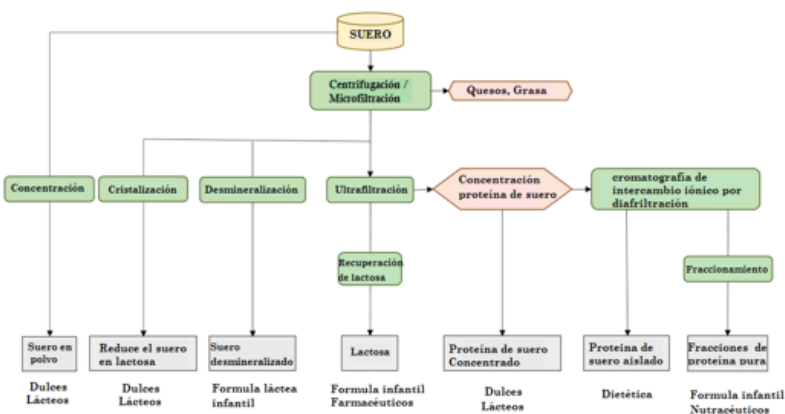
procesada y reutilizada, fibra soluble mediante procesos enzimáticos (Mendoza et. al., 2021, p.1264), alimentos fermentados , bebidas deportivas , refrigerios y fórmulas infantiles.

Tecnologías aplicadas para el aprovechamiento del lactosuero

El aislamiento de los componentes del suero y la producción de los componentes del suero se ha logrado mediante el desarrollo de operaciones unitarias como: "La pasteurización a 75 °C durante 15 s y se puede combinar con una regeneración de calor de alrededor del 90-95 %; el calentamiento a 55 °C combinado con un tratamiento de ultrasonido a 480 W con una sonda ultrasónica de 20 kHz durante 10 min, reduciendo la carga microbiana". Chourasia et. al., (2022, p.87). Y tecnologías de procesamiento, que incluye: La filtración, la precipitación, la centrifugación, la electrodiálisis, la microfiltración, la ultrafiltración, el intercambio iónico, la desmineralización, la diafiltración y la nanofiltración; como se observa en la Figura 1.

Figura 1.

Tecnologías aplicadas al aprovechamiento de lactosuero



Nota: Descripción general del procesamiento del lactosuero líquido para la producción de ingredientes derivados y sus aplicaciones industriales. Fuente: Tomada de Tsermoula et. al., (2021, p 237).

Biomoléculas presentes en el lactosuero

Proteínas: Constituyen alrededor del 20% del total de proteínas presentes en la leche. Son una mezcla de proteínas globulares con una distribución relativamente uniforme de aminoácidos no polares, polares y cargados que se pueden aislar del suero; están principalmente compuestas de β -lactoglobulina (β -Lg), α -lactoalbúmina (α -La), albúmina de suero bovino (BSA), inmunoglobulina (Ig), proteosa-peptonas termoestables y lactoferrina como se muestra en la Tabla 2 (Liu et. al. 2022, p.1), y representan alrededor del 50, 20- 25, 10-15, 6, 1 y menos del 1% de fracciones de proteína de suero respectivamente. Además de poseer una plétora de beneficios nutricionales y biológicos como péptidos bioactivos con una función dispensable en el manejo dietético de enfermedades crónicas (sistema cardiovascular, digestivo, inmunológico y nervioso), con otras numerosas aplicaciones dignas de elogio en la industria alimentaria, ya que pueden moldearse fácilmente en diferentes bases y matrices (macro, micro y nanoestructuras) adecuadas para transportar varios tipos de compuestos bioactivos, diferentes sabores o compuestos de alto valor nutritivo (Zandona et, al. 2021, p.153).

Tabla 2.

Composición del lactosuero y principal actividad biológica de sus proteínas.

Componente	Descripción	Concentración	Bioactividad
β -lactoglobulina	Constituye más del 50% de la proteína de suero total y es relativamente pequeña; posee alrededor de 162 residuos de aminoácidos en una única cadena peptídica con un peso molecular de aproximadamente 18 kDa. (Dybdahl et. al. 2021, p.617)	3,5 g / L	Absorción y metabolismo de sustancias lipofílicas.
α -lactoalbúmina 20%	Contribuye a mejorar la obesidad inducida por una dieta rica en grasas y el metabolismo de los lípidos hepáticos activando la β -oxidación de los ácidos grasos e inhibir la lipogénesis hepática. (Chen et. al. 2020, p. 1)	1,2 g / L	Anticancerígeno y antimicrobiano
Inmunoglobulinas 10%	Previenen la adhesión de microbios, inhiben el metabolismo bacteriano, aglutinan bacterias, aumentan la fagocitosis de bacterias y neutralizan	0,7 g / L	Inmunomodulador

	toxinas y virus. Constituyen el 75% de los anticuerpos en una persona adulta (Wang et. al., 2020, p. 2)		
Albúmina de suero bovino 10%	Es un polipéptido con 583 aminoácidos y un peso molecular de 66.463 kDa. Su función es transportar ácidos grasos, hormonas tiroideas y esteroides a la sangre y participar en la estabilización del volumen de líquido extracelular.(Ziaee et. al. 2021, p. 1)	0,4 g / L	Nutricional
Lactoferrina	Es una glicoproteína transportadora de hierro multifuncional con actividades bactericidas. Por lo tanto, está presente en fórmulas infantiles y otros productos alimenticios funcionales. (Xiong et. al. 2021, p.1).	0.02–0.35 g / L	Antimicrobiano
Lactoperoxidasa	Es miembro de la familia de las peroxidases y cataliza la oxidación de ciertas moléculas (particularmente tiocianatos, SCN-) usando H_2O_2 para dar reacciones intermedias y productos con amplia actividad antibacteriana. (Urtasun et. al. 2021, p.2)	0.01–0.03 g / L	Antimicrobiano

Nota: Descripción de las principales proteínas del lactosuero en su concentración y bioactividad. Fuente: elaboración propia a partir de Tsermoula et. al. (2021, p.233).

Contenido graso

Su función es proteger el núcleo de triglicéridos de la descomposición enzimática por la lipoproteína lipasa autóctona, así como contra la oxidación. Tiene un bajo contenido en grasas (entre 0,05%), compuesto por un 66% de grasas no polares y un 33% de grasas polares. La parte no polar está compuesta principalmente por triacilgliceroles y diacilgliceroles, mientras que la parte polar está compuesta principalmente por fosfolípidos con un 38,5 % de fosfatidiletanolamina, entre 14 % de fosfatidilcolina, entre 32,6 % de esfingomielinea, entre 5,2 % de fosfatidilinositol y 9,6 % de fosfatidilserina. Los glóbulos de grasa están llenos de triglicéridos, que representan el 98% de la grasa total llamada membrana globular de grasa láctea (MFGM), que se compone de proteínas y lípidos. Para los autores: Raza et al., (2021, p.7347), " estas proteínas representan aproximadamente del 1 al 4 % y las más preponderantes

son butirofilina , adipofilina , lactadherina , proteosa peptona 3 y proteína de unión a ácidos grasos , la xantina, oxidasa (XO), el grupo de diferenciación 36 (CD36) y la mucina 1". Y los principales ácidos grasos presentes son el ácido oleico 22% y el ácido palmítico 30% (Hageman et. al. 2019, p.39). Los precursores de los glóbulos de grasa láctea se forman en el retículo endoplásmico y se transportan a través del citosol como gotitas de triglicéridos cubiertas por una capa no polar de fosfolípidos y proteínas. (Wiking et. al. 2022, p. 3).

Carbohidratos

El lactosuero contiene lactosa, varios oligosacáridos y pequeñas cantidades de glucosa y galactosa. Para Karim y Aider (2020, p.2318) "la lactosa (4-O-β- d -galactopiranosil-D d - glucosa)", es un componente básico de los sólidos del suero (70-72% de sólidos totales) y una fuente de energía muy importante, porque actúa como fibra dietética con propiedades prebióticas; la lactosa se encuentra siempre en la parte acuosa: leche desnatada (tras la separación de la nata), mazada o "babeurre" (tras la separación de la materia grasa de la nata), suero (tras la separación de la cuajada de caseína y materia grasa en quesería), en proporción de 40 a 50 g por litro (Godina, 1985. p.85). De este modo, la lactosa facilita la absorción intestinal de varios minerales como el calcio, el fósforo y el magnesio. Pero también tiene la desventaja de que cambia debido al calentamiento ejemplo: isomerización, reacción con grupos aldehídicos o aminados (reacción de Maillard) y descomposición con formación de ácidos orgánicos (fórmico, láctico, acético, pirúvico y propiónico) (Costa et. al. 2019, p.5885). Para la recuperación de lactosa de productos lácteos, normalmente se utilizan la evaporación, la cristalización y el secado por aspersión. La lactosa se recupera principalmente de tecnologías de separación selectiva por membrana como UF y NF en donde la lactosa se cristaliza, se separa y se seca en polvo, aquí la sal se elimina parcialmente para un mejor rendimiento y pureza (Pires et. al. 2021, p.5). Sus usos

están enfocados a productos "bioactivos, como lactulosa, ácido lactobiónico, lactosacarosa", un enfoque más atractivo para la valorización del lactosuero Karim y Aider (2022, p.4).

Minerales

El lactosuero tiene una rica fuente de minerales que se descompone en minerales mayores y menores, según su concentración. Los principales minerales, calcio, fósforo, potasio, sodio, cloruro y magnesio están presentes en el suero en grandes cantidades. El calcio es un mineral que se encuentran en las bebidas lácteas; contiene elementos importantes como hierro, zinc, cobre y manganeso en el crecimiento, el metabolismo y la salud ósea. (Nielsen et. al. 2022, p. 235). El calcio se encuentra principalmente en dos formas, calcio micelar y calcio soluble, formando un equilibrio dinámico entre la fase micelar y fase de suero. En la fase micelar, el calcio existe principalmente en dos formas: fosfato de calcio coloidal amorfo (CCP) en las micelas de caseína e iones de calcio unidos a los residuos de fosfoserina y la fase suero se encuentra en forma de citrato de calcio, o iones de calcio (Huang et. al. 2022, p.1). Como afirma Masotti et al., (2020, p.349), aproximadamente el 33% del calcio total se encuentra en suero en forma iónica/libre (≈ 2 mM, es decir, 7% del calcio total) o asociado con citratos (≈ 6 mM, es decir, 23% del calcio total), fosfatos ($\approx 0,6$ mM, es decir, 2 % del calcio total) o cloruro ($\approx 0,2$ mM, es decir, <1 % del calcio total) y desempeña un papel en varios fenómenos, como la gelificación del cuajo y del ácido, la firmeza del coágulo y la formación de sedimentos. En conclusión, la mayor parte del calcio dietético proviene de la ingesta de leche y derivados lácteos cuya ingesta en una dieta normal de un adulto es de unos 1.200-1.500 mg/día (Huertas et. al, 2019, p.964).

Vitaminas

El lactosuero contiene la mayoría de las vitaminas hidrosolubles (B1, B2, C) y se encuentran en la fase acuosa de la leche, por lo que es una buena fuente de vitaminas B. La vitamina B1 (tiamina o aneurina), derivada de la pirimidina y el tiazol; existe de forma libre y/o combinada con el ácido fosfórico. La riboflavina (B2), le da al lactosuero su color verdoso. Como polialcohol nitrogenado derivado de la isoaloxazina, existe libre o unida a las proteínas y al ácido fosfórico en complejos enzimáticos en la superficie de los glóbulos de grasa. Vitamina PP (nicotinamida, niacina): es un componente de nucleótidos relacionados a enzimas de oxidación-reducción. Acido pantoténico: Dipéptido que forma la coenzima A, activando los ácidos cítricos y grasos (Alais, 2018, p.248). Y vitamina B12: Que contiene compuestos biológicamente activos fisiológicos, bioquímicos y metabólicos que se encargan de mantener las funciones fisiológicas normales del cuerpo humano. (Nielsen et. al. 2022, p. 235).

Características fisicoquímicas

Determinación de acidez

El suero ácido se obtiene por coagulación de caseína con actividad de *Lactobacillus* o por adición de ácido orgánico (ácido láctico) o ácidos minerales (clorhídrico o sulfúrico) (Ryan y Walsh, 2016, p.479). De esta forma las bacterias del ácido láctico (BAL) metabolizan los azúcares y producen ácido láctico (0,05%) a valores de pH inferiores a 5 (Susa et al. 2020. p.1); también puede ser expresado en grados Dornic (°D), grados Soxhlet-Henkel (SH) y grados Thorner. (Fabro et, al. 2006, p.859). Estas bacterias del ácido láctico (BAL) tienen la capacidad de fermentar la lactosa porque son auxotróficas para ciertos aminoácidos (Chourasia et. al. 2022, p.2). Así, la lactosa se hidroliza a glucosa y galactosa que es transformada en piruvato por la vía de la glucólisis (Castillo et. al. 2022, p.2).

Como menciona Lin et al., (2018, p.29) es un "proceso que se lleva a cabo por β -galactosidasa (EC3.2.1.23) a partir de lactosa por transferencia de glicosil de un residuo de D-galactosa a lactosa o productos de oligosacáridos de la reacción de galatosiltransferasa o productos monosacáridos de hidrólisis de lactosa".

Determinación de densidad – Gravedad específica

Para Wolfschoon et. al., (2022, p.1). "Fleischmann fue el primer investigador lácteo en presentar una fórmula para determinar los sólidos totales (TS) de la leche mediante el cálculo de su gravedad específica (S), se mide D (en g/mL^{-1}) con un lactómetro (un hidrómetro de leche)". Esta oscila entre 1.028 – 1.034 expresada en grados de densidad. Su valor debe ajustarse para una temperatura de 15°C , adicionando o restando el factor de corrección de 0.0002 por cada grado centígrado leído por encima o por debajo de los 15°C y está relacionada con la combinación de sus diferentes componentes: Agua; grasa; proteína; minerales y Sólidos no grasos (1.616 g/ml) (Illera, 2005, p.14).

Determinación de pH (concentración de hidrogeniones)

El pH del suero varía principalmente con la concentración de ácido láctico y fosfato, por lo tanto, también depende del pH al que se separa el suero de la cuajada durante la elaboración del queso. El suero ácido tiene un pH de 4,3-4,6 que es una caída inducida por acción de ácidos, donde la acidificación espontánea primero aumenta muy lentamente, tras unas horas (según la temperatura) alcanzando el contenido de ácido láctico al 1%; en este punto se ha descompuesto solamente $\frac{1}{4}$ de la lactosa. El fosfocaseinato se degrada dos veces a medida que el calcio coloidal migra gradualmente a la solución. La caseína isoelectrica no contiene calcio, solo fósforo proteico. Esta desmineralización es una característica esencial de la caseína precipitada acidificada (Alais, 2018, p.164).

Determinación de cenizas

Según Perring y Tschopp (2019, p.162), "la ceniza es el residuo inorgánico que queda después de la separación del agua y la materia orgánica se hayan eliminado por calentamiento en presencia de aire, que proporciona el contenido mineral total del alimento." En donde sus componentes principalmente son: potasio, sodio, calcio y magnesio, trazas de hierro, cobre, manganeso y zinc, así como otros elementos presentes en cantidades menores. En general, las cenizas representan menos del 5% de los sólidos de los alimentos. Los minerales y el agua, son los únicos componentes que no pueden ser oxidados en el organismo para producir energía (Siguas, 2014, p.9). Las cenizas son netamente alcalinas; se ha producido por tanto una modificación importante en el equilibrio ácido – básico en el curso de incineración. Además, las pérdidas de los elementos más volátiles dependen de la temperatura alcanzada en el horno: El cloruro alcalino queda fijado a 550°C, al destruirse completamente el citrato, se forma el carbonato por acción del CO_2 sobre las bases; también se forman fosfatos y sulfatos, con fósforo y azufres presentes en las moléculas de proteína (Alais, 2018, p.209).

Métodos automatizados para el análisis de suero de leche

La industria láctea es una planta de producción de alimentos más automatizada; de acuerdo a una investigación científica, los equipos automatizados que han contribuido a garantizar la calidad de sus productos se da a conocer por los autores: Portnoy et. al., (2021, p.7426), en el analizador de leche por infrarrojos – (analizadores de leche MIR), "basado en la relación entre la absorbancia de luz MIR de las moléculas componentes de la leche y sus concentraciones de grasa, proteína y la lactosa" Figura 2.

Figura 2.

Analizador infrarrojo para leche DMA.



Nota: este equipo realiza una rápida y precisa determinación de los parámetros de la leche. Fuente: ICT. S.L. 2022. [imagen], <http://www.ictsl.net/productos/01d63694a80f7db0d/0000009a950a1d329.html>

De igual manera está el analizador de leche en tiempo real AfiLab (Afimilk), por espectroscopía de infrarrojo cercano (**NIR**) que proporciona observaciones de los componentes de grasa, proteína y lactosa de la leche (Mota et. al. 2022, p.4238); también está el analizador de suero de leche Lactoscan SL60 que determina la composición de la leche incluyendo el porcentaje de grasa, proteína, sólidos no grasos, lactosa, cenizas y densidad (g/cm^3), así como composiciones de ácidos grasos ($\text{g}/100 \text{ g}$ de ácidos grasos totales), (Gharibi et. al. 2020, p.1). Por otro lado se encuentra el analizador de leche Ekomilk (figura 3), que determina los parámetros de: Materia grasa ($0,5\% - 9\% \pm 0,1\%$), sólidos no grasos ($6\% - 12\% \pm 0,2\%$), proteína ($2\% - 6\% \pm 0,2\%$), densidad ($1,0260 - 1,0330\text{g/cm}^3 \pm 0,0005\text{g/cm}^3$), punto de congelamiento y agua agregada ($0\% - 60\% \pm 5\%$) (Toapanta, 2015, p.18).

Figura 3.

Analizador de leche Ekomilk Ultra pro



Nota: Este equipo succiona una pequeña muestra de leche y la somete al paso de una onda de ultrasonido; un microprocesador traduce los resultados. Fuente: Tomada de Toapanta (2015, p.18).

En cuanto a el estudio de investigacion "contenido de proteina, grasa y lactosa de los lactosueros acidos de nueve empresas procesadoras de queso doble crema en el municipio de belen boyaca", se trabajo en el equipo analizador de leches ultrasónico ref. Lactoscan sp milkotronic (figura 4); proporcionado por la universidad Nacional Abierta y a Distancia que calcula parámetros con métodos de referencia: Grasa: 0.01 % a 25 % (Gerber), Sólidos no-Grasos: 3 % a 15 % (gravimétrico), Densidad: 1015 a 1040 kg/m³, Proteínas: 2 % a 7 % (Kjeldahl), Lactosa; 0,01 % a 6 %, porcentaje de Contenido de Agua: 0 % a 70 %, Temperatura (°C): 1°C – 40 °C, pH: 0 a 14 y Punto de Congelación: – 0.400 a – 0.700°C. Para una confiabilidad de los resultados se requiere un muestreo preciso, realizar una segunda medición con nueva porción de la misma muestra después de cada limpieza agua, solución alcalina (50-60°C) - agua - solución ácida (50-60°C) – agua por cada 15 min, tomar medidas con muestras diferentes (mayor a 3) con valores de parámetros conocidos.

Figura 4.

Analizador de leches ultrasónico. Lactoscan sp milkotronic.



Nota: El equipo toma la muestra del recipiente por medio de una bomba peristáltica y luego del tiempo de medición la entrega nuevamente al recipiente. Fuente: Tomada de manual del equipo en la investigación.

Validación de métodos de laboratorio

Eurachem (2005, p.7) menciona que la "validación de un método se define como el proceso para especificar una necesidad analítica y confirmar que el método en cuestión tiene capacidades de desempeño consistentes con las que requiere la aplicación" del mismo modo los autores Pérez y Alvarado (2018, p.389), afirman que la validación corresponde al proceso mediante el cual, se logran establecer las características de desempeño y limitaciones de un método, así como la identificación de las influencias que pueden modificar esas características, lo cual debe fundamentarse mediante el suministro de evidencia objetiva.

En el proceso de validación de métodos está implícito que los estudios para determinar los parámetros de desempeño se maneje equipos que cumplan con descripciones específicas, a modo que funcione correctamente y esté debidamente calibrado. Además, se considera que la validación del método está ligada estrechamente con el desarrollo del método; determinando así que los componentes del proceso de validación son: analista, equipo instrumental y método.

Parámetros de validación

Exactitud.

Teniendo en cuenta a Medina et. al., (2018, p.28), "la exactitud de un procedimiento analítico expresa la proximidad entre el valor aceptado convencionalmente como valor verdadero o valor de referencia y el valor experimental encontrado. Y se expresa como porcentaje de recuperación de la valoración de una cantidad conocida de analito añadido sobre la muestra". El término "exactitud", esta aplicado a un conjunto de resultados de un ensayo, y supone una combinación de componentes aleatorios y un componente común de error sistemático o sesgo.

Siguiendo la metodología descrita por el autor Toapanta (2015, p.22), recomienda utilizar las siguientes ecuaciones [1] y ecuacion [2] para la determinar exactitud y de la misma forma la ecuacion [3] para la determinar el sesgo y la ecuacion [4] para el % de recuperabilidad.

$$Exactitud = \bar{x} - \mu \dots [1]$$

$$\%Exactitud = \frac{\bar{x}-\mu}{\mu} \times 100\dots [2]$$

Cuando se aplica a un método de ensayo, el término "exactitud" se refiere a una combinación de veracidad y precisión. Veracidad: Determina el grado de concordancia a partir de una serie de resultados y un valor de referencia aceptable. La veracidad puede ser determinada por sesgo o recuperación.

Sesgo (s)

Es la diferencia entre el valor relativo esperado y el resultado real de la prueba o medición. En la práctica, el costo ajustado puede reemplazar el costo real. El sesgo es un error sistemático común, a diferencia del error aleatorio. Puede utilizar materiales, materiales de control o materiales de prueba de rendimiento para determinar el sesgo. Para ello, es necesario medir la concentración conocida de la sustancia analizada y determinar la diferencia absoluta entre el valor conocido y el promedio obtenido (Toapanta, 2015, p.23).

$$S = x - x_a \dots [3]$$

Dónde: s = sesgo

X = lectura obtenida o valor promedio de las lecturas obtenidas.

X_a = valor asignado, valor certificado del material de referencia o valor esperado.

Para evaluar el sesgo, se debe realizar la prueba t , en la cual el valor de t calculada será menor al valor de t tabulada ($t_{abs} < t_{crit}$).

Recuperación (R)

Esta es la proporción del compuesto agregado a la muestra (muestra enriquecida) antes del análisis cuando se analizan muestras enriquecidas y no enriquecidas. La recuperación le permite ver el rendimiento del método analítico según el proceso de extracción y la cantidad de analito en la muestra original. Por lo tanto, la recuperación depende significativamente de las propiedades de la matriz de la muestra (Toapanta, 2015, p.23).

$$\% \text{ Recuperabilidad} = \frac{\bar{x}}{\mu} x 100 \dots [4]$$

Precisión

Es la proximidad de concordancia entre los resultados de pruebas independientes obtenidos bajo condiciones estipuladas. Las medidas de precisión más comunes son en condiciones de repetitividad y reproducibilidad.

La repetitividad

Esta precisión está en condiciones repetibles, es decir condiciones en las que se obtienen resultados de pruebas independientes por el mismo método, en los mismos artículos de prueba, en el mismo laboratorio y por el mismo operador con el mismo equipo, dentro de intervalos cortos. Para su estimación se puede calcular la Desviación Estándar (S_r) y el porcentaje de coeficiente de variación ($CV_r\%$) (Orsini y Aban, 2020, p.63). De acuerdo a la metodología

descrita por Toapanda (2015, p.24), recomienda utilizar las ecuaciones [5] para determinar repetibilidad y la ecuación [6] para determinar reproducibilidad.

$$r = t_{\infty} \times \sqrt{2} \times \sigma_r \dots [5]$$

Reproducibilidad

Se refiere a mediciones realizadas con diferentes analistas, en períodos de tiempo prolongados, en un mismo laboratorio. Holgado et. al., (2019, p.215). Para determinar la precisión de la reproducibilidad intralaboratorio (R_i), se recomienda realizar 3 mediciones de un Material de Referencia (MRC o material control) una vez por cada semana o el comportamiento de la curva de calibración en 3 días diferentes. Calcular la desviación estándar (S_{R_i}) y el porcentaje de coeficiente de variación ($CV_{R_i}\%$).

$$R = t_{\infty} \times \sqrt{2} \times \sigma_r \dots [6]$$

La única forma de determinar la concordancia es usar varios métodos estadísticos y uno de los más utilizados en la medicina es el método estadístico desarrollado por Bland y Altman.

Altman y Bland, propusieron un método más apropiado para el análisis de concordancia, que es “límites de concordancia”. Esto refleja la estrecha concordancia entre las mediciones de los dos métodos investigados. El método tiene en cuenta la variación según el acuerdo, a mayor acuerdo, menor variación y viceversa. Este método se utiliza para comparar dos protocolos de medición diferentes y determinar si un nuevo método de medición puede reemplazar un método aceptado existente (Cardemil, 2017, p. 1)

La concordancia promedio

Se evalúa comparando el promedio de las diferencias de las mediciones de los individuos. Esto se puede hacer con la prueba de t de Student para muestras pareadas o la prueba de Wilcoxon (si no es paramétrica), tomando como hipótesis de nulidad la no diferencia. Las

estimaciones de diferencia se pueden informar mediante un intervalo de confianza de 95%, la que se obtiene como la [diferencia promedio + 1,96 X el error estándar de las diferencias].

La concordancia para individuos

se evalúa la variabilidad de las diferencias. En primer lugar, analiza la distribución de las diferencias, mediante un histograma o una prueba de distribución. Con una distribución normal, el límite de concordancia se calcula como [promedio de las diferencias + 1,96 X la desviación estándar de las diferencias]. Si la distribución de la diferencia es relativamente normal, el error sistemático se estima por el promedio de las diferencias, y el error al azar con la desviación estándar de las diferencias. El gráfico incluye una línea horizontal en la media de la diferencia y dos líneas llamadas límites de concordancia, con dos desviaciones estándar por encima y por debajo de la primera. Si las diferencias entre los pares de observaciones siguen aproximadamente una distribución normal y los valores tienden a estabilizarse dentro del rango de medición, entonces se espera que el 95,5% de estas diferencias se encuentren dentro del intervalo de concordancia (Cardemil, 2017, p.2). La precisión también se puede determinar por un análisis de varianza Anova, en donde se determina la prueba de Fisher y el valor de significancia a un 95% ($p= 0.05$) de confiabilidad.

Prueba exacta de Fisher

Es el método que se utiliza cuando se quiere comprobar si existe una asociación entre dos variables cualitativas, es decir, si la correlación de una variable varía con el valor de la otra variable. La prueba de Fisher se basa en la hipótesis nula de que las dos variables son independientes, lo que significa que los valores de una no dependen de los valores de la otra (García, 2018, p.3).

Cálculo del P-Valor

El valor p nos muestra el nivel de confiabilidad de la hipótesis nula: si el valor p es "muy pequeño" (menos de 0.001), significa que la hipótesis nula es completamente imposible (basado en las observaciones) y por lo tanto debe ser descartado; Si el p-valor varía de 0,05 a 0,001, significa que existe fuerte evidencia en contra de la hipótesis nula, por lo que la rechazamos o no dependiendo del valor que le asignemos a α . Finalmente, si el valor p es "grande" (mayor que 0.05), no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula para que la aceptemos como verdadera (DomeneCh, 2018, p.1185).

Linealidad.

Desde la posición de Orsini y Aban (2020, p.63), "la linealidad es la capacidad de un método de análisis, dentro de un determinado intervalo, de dar una respuesta o resultados instrumentales que sean proporcionales a la cantidad del analito que se habrá de determinar en la muestra de laboratorio". Para determinar el rango lineal se hace un gráfico de concentración versus respuesta, conocido como función de respuesta (curva de calibración); donde se busca a la ecuación de la recta que relacione el tamaño de la muestra con el resultado para establecer una ecuación de la forma $y=mx+b$, el valor de y es igual al valor medido (Volumen de titulante, cantidad de precipitado, absorbancia, etc.) y el valor de x es el tamaño de la muestra, m es el valor de la pendiente y b el intercepto en el origen (Gómez, 1999, p.31).

Coefficiente de correlación Pearson (r)

Es una medida utilizada para cuantificar y dirigir la relación entre dos variables de una cantidad normalmente distribuida y ayuda a determinar la tendencia de dos variables a superponerse, también conocida como covarianza. Teniendo en cuenta la metodología de (García et. al. 2019, p.355) se muestra la ecuación [7] para determinar el coeficiente de correlación,

donde se tiene en cuenta la covarianza (suma de productos xy) en el numerador y la raíz del producto de las sumas del cuadrado de ambas variables en el denominador.

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} [7]$$

El coeficiente de correlación está representado por “ r ” y puede tomar valores que van entre -1 y $+1$. Una puntuación de 0 significa que no hay correlación, lo que significa que el comportamiento de una variable no se relaciona con el comportamiento de la otra variable. La correlación perfecta implica un valor de -1 o $+1$, lo que indica que al conocer el valor de una variable se puede determinar el valor de la otra variable. Cuanto más cerca este el coeficiente de correlación a 1 , más fuerte será de asociación. Las hipótesis que es posible plantearse mediante una correlación son las siguientes:

H_0 : $r = 0$, no existe correlación.

H_a : $r \neq 0$, existe correlación y está puede ser positiva o negativa (García et. al. 2019, p.356).

El coeficiente de correlación (r)

Se considera un método lineal, el coeficiente de correlación debe ser superior a $0,999$. Sin embargo, para demostrar la linealidad del método se debe aplicar una prueba estadística de t (t de Student), en la cual se calculará la correlación lineal significativa (t_r) a partir de la hipótesis nula de no correlación entre las cantidades examinadas (" x " y " y "). El autor Ma (2016, p.20), recomienda emplear la ecuación [8].

$$t_r = r \frac{n-2}{(1-r^2)} [8]$$

Donde:

r = coeficiente de correlación.

r^2 = coeficiente de determinación.

n = número de réplicas.

El valor de t_r obtenido se compara con el valor tabulado de t para el nivel de significación utilizado y con $n-2$ grados de libertad (donde n corresponde al número total de determinaciones de "y").

Coefficiente de determinación

Si examinamos la correlación lineal entre las variables cuantitativas, una parte de la variación en la variable Y puede deberse a X . Sin embargo, este cambio depende en cierta medida de otros factores o de la influencia del azar. El coeficiente de determinación se puede calcular para mostrarnos la correlación de la variable y esto se relaciona con la relación lineal con X . El coeficiente de determinación se obtiene elevando al cuadrado el valor del coeficiente de correlación (r^2). El coeficiente de determinación puede tomar valores entre 0 y 1. Valores cercanos a 1 implican que una gran proporción de la variabilidad de y es explicada por X (Palma, 2022, p.3).

Pendiente (conocida también como coeficiente de regresión)

Indica la sensibilidad de la calibración o método y se expresa en unidades de respuesta relativas a la concentración de analito. La sensibilidad analítica relaciona la aleatoriedad de la respuesta con la aleatoriedad debida a la variación de la concentración, es inversamente proporcional a la capacidad de detectar pequeñas diferencias en la concentración del analito, y se obtiene dividiendo la pendiente de la curva de calibración por la desviación estándar de las respuestas en cada punto o concentración. Se supone que cuanto mayor sea la pendiente, mayor será la sensibilidad y cuanto menor sea el coeficiente de variación de la pendiente, mayor será la linealidad (los coeficientes de variación de la pendiente superiores al 5,0 %, indican falta de linealidad) (Liebscher, 2021, p.1).

Intercepto

Es un estimador que depende de la presencia de interferencia o sesgo. El intervalo de confianza de la intersección debe ser cero para satisfacer el requisito de proporcionalidad (como

se requiere para obedecer la ley de Lambert-Beer en métodos espectrofotométricos). La prueba de proporcionalidad se determina mediante la prueba t, asumiendo la hipótesis nula de que el intercepto debe ser cero (Ma 2016, p.21). Del mismo modo este autor recomienda usar la ecuación [9], para determinar el valor t.

$$t_{exp} = \frac{a}{S_a} [9]$$

Donde:

a = Valor del intercepto.

Sa = Desviación estándar del intercepto y deberá ser menor que el valor tabulado de t para el nivel de significación dado y n-2 grados de libertad.

Estudio de factibilidad técnica

El estudio técnico está relacionado con las especificaciones de tamaño, localización, proceso operativo, instalaciones físicas, equipo, recurso humano, aspectos legales y organizacionales. La importancia de este estudio procede de la posibilidad de llevar a cabo una valorización económica de las variables técnicas, que permitan la estimación exacta o aproximada de los recursos necesarios para el proyecto; además de proporcionar información de utilidad al estudio económico-financiero. (Chain y Chain, 2008, p.25).

Estructura

Los componentes esenciales que conforman el estudio técnico de un proyecto de inversión son mencionados por Navarro (2010, p.3) y se describen a continuación:

Localización del proyecto

La localización óptima de un proyecto es la parte que representa en mayor medida donde se logra la mayor tasa de éxito: a): La localización óptima del proyecto. b): Análisis de la disponibilidad y el costo de los suministros e insumos. c): Identificación y descripción

del proceso productivo. d): Determinación de la organización humana y jurídica para la operación del proyecto. e): Determinación del tamaño óptimo de la planta, que se refiere a la capacidad de instalación de proyectos, expresadas en unidades de producción anuales.

Ingeniería del proyecto.

Resuelve todo lo relacionado con la instalación y el funcionamiento de la planta desde la descripción del proceso, adquisición del equipo, la maquinaria hasta la distribución óptima de la planta. Llega a la conclusión de definir la estructura jurídica y la organización.

Organización de la organización humana y jurídica

Esta procede a la introducción de una jerarquía vertical simple y permite mostrar cómo quedarán los puestos dentro de la empresa, si además la empresa no está constituida legalmente deberá conformarse de acuerdo al interés de los socios, respetando el marco legal vigente.

Distribución de planta

La distribución en planta es el fundamento de la industria donde se determina la eficiencia y la supervivencia de una empresa. Así, un máximo de ventas y un producto bien diseñado, pueden generar un plan técnico de sacrificio por la deficiente distribución de una planta. La distribución en planta implica una ordenación física de elementos, la cual incluye los espacios para el movimiento del material, almacenamiento, trabajadores, actividades, servicios, incluido mantenimiento.

Inversión en obras físicas

Las inversiones en obras físicas incluyen la construcción o remodelación de edificios, oficinas, salas de venta, construcción de caminos, cercados o estacionamientos, sin embargo, hablando del nivel de factibilidad la información debe ser lo más precisa posible mediante

el estudio de la ingeniería, permitiendo examinar actas de las necesidades de recursos financieros en las inversiones del proyecto.

Cálculo de costos de producción

Hace referencias a las erogaciones o gastos en donde se incurre para producir un bien o un servicio. Costos directos de producción: materias primas, mano de obra directa. Costos indirectos: depreciación, mano de obra indirecta, insumos o materiales menores.

Revisión estado del arte

El estudio del arte en la presente investigación "caracterización química y técnica del lactosuero ácido para su aprovechamiento como materia prima en la industria de alimentos"; se fundamenta en las investigaciones por Torres (2022, p.36) "Cuerpo de conocimiento de la gerencia de proyectos PMBOK para el estudio de pre-inversión con evaluación de oportunidades de negocio en empresas lácteas del municipio de Belén, Boyacá" que muestra un estudio técnico de factibilidad en el que describe el proceso de elaboración de la bebida láctea, el cual requiere de diez (10) etapas que incluyen operaciones y procesos unitarios, identificación de recursos y costos de energía basados en el balance de materiales y costo energético concluyendo con el diseño de hojas de verificación elaboradas bajo la metodología 5W2H para el control de calidad del proceso y el uso de diagramas de Pareto como herramienta de evaluación de la información para la toma de decisiones. De igual forma en la investigación "estudio de viabilidad técnica para determinar el diseño, la elaboración y comercialización de una bebida láctea" por los autores: Araujo y Arpi (2007, p.53), demuestran un estudio de factibilidad técnica con un alcance general referente a inversiones, tamaño de la planta de producción de acuerdo a la demanda, ubicación y necesidades de mano de obra, todo basado en las necesidades de infraestructura y equipo. Por otra parte como argumentan Sanchez y Chavez (2003, p.35) en la investigación "proyecto de

desarrollo empresarial y tecnológico elaboración y comercialización de una bebida láctea a base de yogurt” presenta un estudio técnico de fiabilidad respecto a especificaciones de tamaño, localización, proceso operativo, instalaciones físicas, equipo, recurso humano, aspectos legales y organizacionales. Desde la posición de Sanchez (2013, p.138) con su “estudio de factibilidad previo a la apertura de una empresa de bebidas nutritivas a base de suero de leche para escolares en el cantón píllaro” refiere un estudio de factibilidad técnico con especificaciones técnicas de los insumos necesarios para ejecutar el proyecto: el tipo y la cantidad de materias primas e insumos materiales; el nivel de calificación de la mano de obra; la maquinaria y los equipos requeridos. Y en la opinión de Ortiz (2012, p.15) con el proyecto “estudio de factibilidad para la instalación de una planta industrial de lactosuero subproducto de las queserías en Cajamarca” con un estudio de factibilidad técnica basado en cada necesidad de inversión.

Metodología

Tipo de investigación: experimental, cuantitativa y estadística

Población: Empresas lácteas del municipio de Belén- Boyacá.

Muestra: Nueve empresas que procesan queso doble crema y generan lactosuero ácido.

Materiales

Las muestras de lactosuero ácido se obtuvieron de cada una de las empresas lácteas participantes en el proyecto, directamente del proceso de elaboración del queso doble crema en la etapa de desuerado antes del salado de la cuajada. Las muestras se tomarán durante tres momentos de producción diferentes: día 1, a los 15 días y al día 30 del mes. Para las pruebas de comparación de métodos se seleccionó una empresa al azar y se tomaron 18 muestras en total, cada una de 500 mL. Para la caracterización fisicoquímica se tomaron 27 muestras en total, cada una de 1000mL (figura 5). Luego de la recolección de las muestras en botellas PET estériles, se almacenaron y se transportaron hasta los laboratorios en nevera de icopor a una temperatura de 4 °C. Todas las muestras se analizaron el mismo día del muestreo.

Figura 5.

Muestras de lactosuero ácido para análisis fisicoquímicos



Nota: Se presenta muestras de lactosuero ácido proveniente de la elaboración de queso doble crema de nueve empresas lácteas.
Fuente: Elaboración propia.

Métodos

Comparación de métodos

Se realizó una comparación de los resultados obtenidos con el equipo analizador de leches ultrasónico ref. lactoscan sp milkotronic y los obtenidos por procedimientos analíticos de referencia. Para este procedimiento, se tomaron 18 muestras cada una de 500 mL durante tres fechas de proceso (1, 15 y 30 días). Se adquirieron los servicios de un laboratorio externo certificado “Control microbiológico análisis de alimentos, aguas y bebidas S.A.S” para la determinación de grasa (%m/m), SNG (%), proteína (%m/m), lactosa (%m/m) y pH con el objetivo de contar con resultados validados y de referencia. Las muestras restantes fueron analizadas a nivel de las mismas determinaciones mediante equipo analizador de leches ultrasónico en las instalaciones del laboratorio de Química del CEAD de Duitama.

Caracterización fisicoquímica

Para este procedimiento, se tomaron 27 muestras en total de nueve empresas, cada una de 1000 mL durante tres fechas de proceso (1, 15 y 30 días). Por medio del equipo analizador de leches ultrasónico se determinó grasa (%), sólidos totales (%), SNG (%), proteína (%), lactosa (%) y pH. Mediante pruebas analíticas y de laboratorio se determinaron cenizas totales (%m/m), calcio (mg/100g), densidad (Kg/m³) y acidez como ácido láctico (%m/m). Todos los análisis se realizaron en el laboratorio de Química del CEAD de Duitama. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores permitidos y estipulados en la Resolución 2310:1986 “Derivados Lácteos” del Ministerio de Salud y con la comparación de estudios similares en aquellas determinaciones que no se consideran en la normatividad 2310/1986.

Fases de la investigación

Fase I: comparación de métodos

Se realizaron comparaciones de los resultados de los ensayos fisicoquímicos obtenidos mediante los métodos de referencia realizados por el laboratorio externo y certificado (Tabla 3) con los resultados obtenidos del equipo analizador de leches ultrasónico a fin de realizar una validación en términos de exactitud y precisión.

Tabla 3.

Determinaciones fisicoquímicas y métodos de referencia realizados por el laboratorio externo

Análisis fisicoquímico	Método aplicado en el laboratorio externo	Principio
grasa (%m/m)	AOAC 2000.18:2019	Método de Gerber por peso.
SNG (%)	Ultrasónico	Ultrasónico
proteína (%m/m)	AOAC 991.20I:2019	Kjeldahl
lactosa (%m/m)	AOAC 930.28:2019	Método gravimétrico
pH	AOAC 981.12:2010	Potenciometría

Nota: La tabla presenta los análisis fisicoquímicos realizados al lactosuero ácido. Fuente. Elaboración propia.

Fase II. Caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos

Una vez verificada la exactitud y precisión de los resultados de los ensayos a través del del equipo analizador de leches ultrasónico, se procedió a realizar la caracterización fisicoquímica de los sueros ácidos que se obtienen del proceso de elaboración del queso doble crema de nueve empresas lácteas del municipio de Belén, Boyacá (Tabla 4, Figura 6).

Tabla 4.*Análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de lactosuero ácido*

Análisis fisicoquímico	Método	Principio
Grasa (%m/m)	Lactoscan *	Gerber
SNG (%)	Lactoscan *	Gravimétrico
proteína (%m/m)	Lactoscan *	Kjeldahl
lactosa (%m/m)	Lactoscan *	No especificado
pH	Lactoscan *	Potenciómetro AOAC 981.12:2010
Cenizas totales (%m/m)	AOAC 945.46:2019 **	Gravimetría
Calcio (mg/100g)	AOAC 985.35:2019 ***	FAAS
Acidez como ácido láctico (%m/m)	AOAC 947.05, 1997**	Volumetría por neutralización
Densidad (Kg/m3)	AOAC 962.37: 2000**	Método de picnómetro

Nota: La tabla presenta los análisis que se realizaron a cada una de las muestras de suero ácido*Equipo analizador de leches ultrasónico ref. lactoscan sp milkotronic. ** Pruebas que no se determinan por Lactoscan y que se desarrollaron en laboratorio UNAD Cead Duitama*** Análisis determinado en el laboratorio externo certificado.

En el apéndice 1, se presenta el procedimiento de uso y mantenimiento del equipo lactoscan. En el apéndice 2, se presentan los protocolos de las marchas analíticas para las determinaciones de cenizas totales (%), calcio (mg/100g) y acidez como ácido láctico (%).

Figura 6.*Registro fotográfico caracterización fisicoquímica de muestras de lactosuero ácido*

Nota: La figura muestra el uso del equipo lactoscan y alguna de las determinaciones analíticas de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de los sueros ácidos. Fuente. Elaboración propia

Fase III. Evaluación de alternativas de uso del lactosuero ácido- estudio de factibilidad tecnológica

A partir de los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica, se realizó un estudio de proyección técnica a fin de proponer la elaboración de un producto a base de lactosuero ácido, para ello se tomó como criterio de decisión los resultados de la matriz de priorización aplicada por Torres (2021, p 67). La evaluación técnica abarcó ítems como: localización, cálculo de la capacidad instalada, descripción del producto y del proceso productivo, identificación de recursos, obras físicas y control de calidad.

Las fuentes de información fueron primarias como obtención de información directa del proceso de cada empresa, entrevista a los productores o jefes de proceso de cada empresa como cotizaciones a empresas de venta de equipos de sector agroalimentario. Las fuentes de información secundarias y relacionan con los textos, tesis, artículos científicos obtenidas de la base de datos de la e-biblioteca (Scopus, DOAJ, Dialnet, Proquest y Science Direct) de la UNAD y revisión de documentos gubernamentales nacionales e internacionales de acceso libre en la web para obtener datos representativos del proceso de lactosuero, bebidas lácteas fermentadas y similares a nivel internacional, nacional y regional.

Análisis estadístico

Fase I: comparación de métodos

La comparación de métodos se realizó a través de los siguientes parámetros: exactitud entre métodos, precisión entre métodos y correlación (tabla 5).

La exactitud se expresó en términos de error determinado (Edet) y porcentaje de error determinado relativo (% Edet). La precisión a través del valor F y la probabilidad de significancia (valor p) a través de un diseño de cuadrado latino, siguiendo el modelo estadístico de la ecuación 10.

$$\gamma_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \beta_k + \varepsilon_{ijk}, \text{ donde } \begin{cases} i = 1, 2. \\ j = 1, 2, 3. \\ k = 1, 2, 3. \end{cases} [10].$$

Donde γ_{ijk} es el resultado del análisis fisicoquímico obtenido en la muestra en el i -ésimo laboratorio, en la j -ésima fecha y en la k -ésimo orden; μ es la media muestral; α_i es el efecto de cada laboratorio; τ_j es el efecto de cada fecha; β_k es el efecto de cada orden en que se hizo la medición; el término ε_i representa el error aleatorio atribuible a la medición γ_{ijk} .

Para la discusión de resultados los datos se tabularon y procesaron a través del software estadístico R versión 4.0.2 con el fin de determinar la dispersión de los datos y así verificar la confiabilidad de los datos obtenidos del equipo lactoscan a través del análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias significativas entre las medias de los grupos fueron estimadas a un nivel de significancia del 95%. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Para realizar la comparación entre métodos se plantearon las siguientes hipótesis:

H investigación: no existe diferencias significativas entre los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en el equipo lactoscan y los del laboratorio de referencia para las muestras de lactosuero ácido.

H_{multa} : Existe diferencias significativas entre los resultados o al menos en uno de los análisis fisicoquímicos realizados en el equipo lactoscan y los del laboratorio de referencia para las muestras de lactosuero ácido es diferente.

Como complemento, se elaboraron curvas de correlación obteniendo parámetros de linealidad como pendiente de la recta, ordenada al origen y coeficiente de correlación (Tabla 5).

Tabla 5.

Parámetros y estadísticas para la comparación entre métodos de laboratorio

Parámetros	Estadística
Exactitud	(E_{det}) y (% E_{det}).
Precisión	Prueba F y valor p
Correlación	ordenada al origen, pendiente de la recta y coeficiente de correlación.

Nota: La tabla presenta los estadísticos aplicados para determinación de los métodos de exactitud y precisión entre métodos. Fuente: elaboración propia.

Las variables de la fase I fueron: Variable Independiente: cantidad (mL) de lactosuero ácido. Variables dependientes: Grasa (%m/m), SNG (%), proteína (%m/m), lactosa (%m/m), pH. Variables de ruido: forma de procesamiento, obtención y conservación de lactosuero ácido, origen, obtención, transporte y conservación de la materia prima (leche fresca). Condiciones fijas: marchas analíticas de los métodos según AOAC. Procedimiento según manual equipo Lactoscan.

Fase II. Caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos

Para la discusión de resultados los datos se tabularon y procesaron a través del software estadístico R versión 4.0.2. Se formuló un diseño de bloques completamente aleatorizado, el modelo estadístico aplicado fue:

$$\gamma_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}, \text{ donde } \begin{cases} i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. \\ j = 1, 2, 3. \end{cases}$$

Donde γ_{ij} es el resultado del análisis fisicoquímico obtenido en la muestra en la i -ésima empresa y en la j -ésima fecha; μ es la media muestral; τ_i es el efecto de cada empresa; β_j es el efecto de cada fecha; el término ε_i representa el error aleatorio atribuible a la medición γ_i . El diseño tiene tres replicas por tratamiento.

Con el fin de determinar la dispersión de los datos y así verificar la confiabilidad de los datos obtenidos del equipo lactoscan se determinó el análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias significativas entre las medias de los grupos fueron estimadas a un nivel de significancia del 95%. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Se planteó los siguientes sistemas de hipótesis para conocer si los efectos generados por cada una de las variables en el diseño en bloques completamente aleatorizado son iguales.

$$\begin{cases} H_{0_{Emp}}: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = \tau_7 = \tau_8 = \tau_9 = 0 \\ H_{1_{Emp}}: \tau_i \neq 0, \text{ para algún } i; \text{ donde } i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. \end{cases}$$

$H_{0_{Emp}}$: no existe diferencias significativas entre los resultados fisicoquímicos realizados a los lactosueros acidos de las nueve empresas que procesan queso doble crema.

$H_{1_{Emp}}$: Existe diferencias significativas entre los resultados fisicoquímicos realizados a los lactosueros acidos o al menos en uno de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de las nueve empresas que procesan queso doble crema es diferente.

$$\begin{cases} H_{0_{Fec}}: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0 \\ H_{1_{Fec}}: \tau_j \neq 0, \text{ para algún } j; \text{ donde } j = 1, 2, 3. \end{cases}$$

$H_{0_{Fec}}$: no existe diferencias significativas entre los resultados fisicoquímicos entre las tres fechas de muestreo de los lactosueros acidos de las nueve empresas que procesan queso doble crema.

$H_{1_{Fec}}$: Existe diferencias significativas entre los resultados fisicoquímicos realizados entre las tres fechas de muestreo de los lactosueros acidos o al menos en una de las fechas y uno de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de las nueve empresas que procesan queso doble crema es diferente.

Las variables de la fase II, fueron: Variable Independiente: cantidad (mL) de lactosuero ácido. Variables dependientes: Grasa (%m/m), SNG (%), proteína (%m/m), lactosa (%m/m), pH, Cenizas totales (%m/m), Calcio (mg/100g), Acidez como ácido láctico (%m/m), Densidad (Kg/m³). Variables de ruido: forma de procesamiento, obtención y conservación de lactosuero ácido, origen, obtención, transporte y conservación de la materia prima (leche fresca).

A fin de determinar si los parámetros fisicoquímicos del lactosuero ácido se encuentran dentro de los estándares normativos como también analizar la variabilidad del proceso y el impacto en la calidad del lactosuero y del queso doble crema, se realizaron gráficos de control de calidad (gráficos-X). Todos los datos se tabularon y procesaron a través del software estadístico R versión 4.0.2.

Resultados

Fase I: comparación de métodos

En la Tabla 6 se detalla el análisis estadístico de los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos por el equipo analizador de leches ultrasónico ref. Lactoscan sp milkotronic y los métodos convencionales de referencia. En el apéndice 3, se presentan las determinaciones estadísticas para cada parámetro fisicoquímico y en el apéndice 4, se presenta el resumen de la prueba F y valor p.

Tabla 6.

Estadísticos para la verificación de la precisión, exactitud y correlación entre los resultados obtenidos por el equipo analizador de leches ultrasónico ref. Lactoscan y métodos de referencia

Determinación estadística	Proteína (%)	Grasa (%)	SNG (%)	Lactosa (%)	Densidad (Kg/m ³)	pH
Media (EL)*	2,75	2,38	7,99	6,35	1,027	4,53
Media (MR)	2,75	2,02	7,98	6,25	1,027	4,60
Desv. Estándar (EL)*	0,08	1,36	0,56	0,40	0,001	0,16
Desv. Estándar (MR)**	0,19	0,90	0,506	0,36	0,001	0,1323
E _{det}	0,0007	0,36	0,009	0,10	0,0007	-0,07
%E _{det}	0,03	18,06	0,11	1,60	0,07	-1,43
Precisión: valor F (F _{t 1,12} : 4,747)	0,02	3,87	0,01	3,09	0,04	3,72
Precisión: Valor P (α=0,05)	0,89	0,052	0,92	0,059	0,84	0,053
Ordenada al origen	1,73	1,087	0,983	0,461	0,055	0,055
Pendiente de la recta	0,35	1,447	1,001	1,089	0,946	0,946
Coefficiente de correlación.	0,81	0,96	0,90	0,97	0,96	0,96

Nota: * El equipo analizador de leches ultrasónico ref. lactoscan sp milkotronic. ** MR: métodos de referencia realizados en laboratorio externo. Fuente. Elaboración propia

Fase II. Caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos

Después de la validación entre métodos y el análisis estadístico, se procedió a realizar la caracterización fisicoquímica de los sueros ácidos obtenidos del proceso de elaboración de queso

doble crema de cada una de las empresas participantes en el estudio. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7. En el apéndice 5 se exhiben los resultados de la caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos obtenidos por medio del equipo analizador de leches ultrasónico ref. lactoscan sp milkotronic y el estadístico ANOVA. En la Figura 7, se presentan los gráficos de control de calidad (gráficos-X).

Tabla 7.

Características fisicoquímicas de los sueros ácidos generados a partir del queso doble crema.

Empresa	SNG (%)	proteína (%)	Lactosa (%)	Grasa (%)	Cenizas totales (%)	Calcio (mg/100g)	Acidez (%)	Densidad (Kg/m ³)	pH
Emp1	7.16±0.2 ^a	2.54±0.1 ^a	3.52±0.1 ^a	0.04±0.03 ^a	0.59±0.0 ^a	108±0.2 ^c	0.40±0.1 ^a	1.026±0.0 ^a	5.22±0.1 ^a
Emp2	7.24±0.4 ^b	2.57±0.1 ^b	3.57±0.1 ^b	0.21±0.4 ^b	0.56±0.0 ^c	85±0.4 ^b	0.84±0.5 ^b	1.027±0.0 ^a	4.37±0.2 ^b
Emp3	7.29±0.04 ^c	2.64±0.02 ^c	3.87±0.1 ^c	0.63±0.1 ^c	0.63±0.01 ^c	126±0.0 ^a	0.58±0.1 ^c	1.027±0.0 ^a	4.83±0.3 ^c
Emp4	6.77±0.06 ^d	2.42±0.03 ^d	3.42±0.1 ^d	0.22±0.1 ^d	0.57±0.0 ^c	118±0.1 ^b	0.44±0.1 ^d	1.025±0.0 ^a	5.20±0.4 ^d
Emp5	7.08±0.1 ^c	2.54±0.1 ^c	3.68±0.2 ^e	0.48±0.3 ^e	0.47±0.01 ^e	144±0.1 ^d	0.52±0.2 ^e	1.026±0.0 ^a	4.86±0.5 ^e
Emp6	6.95±0.2 ^f	2.48±0.1 ^f	3.49±0.2 ^f	0.15±0.2 ^f	0.59±0.0 ^{ab}	113±0.2 ^e	0.41±0.1 ^f	1.026±0.0 ^a	4.91±0.6 ^f
Emp7	6.76±0.2 ^e	2.39±0.1 ^e	3.34±0.02 ^e	0.12±0.1 ^e	0.59±0.0 ^b	127±0.2 ^a	0.38±0.1 ^e	1.025±0.0 ^a	5.18±0.7 ^e
Emp8	7.16±0.3 ^h	2.52±0.1 ^h	3.56±0.1 ^h	0.23±0.2 ^h	0.53±0.01 ^h	84.8±0.3 ^f	0.31±0.2 ^h	1.026±0.0 ^a	5.85±0.8 ^h
Emp9	7.01±0.6 ⁱ	2.62±0.2 ⁱ	4.27±0.5 ⁱ	3.41±0.1 ⁱ	0.65±0.0 ⁱ	204±0.6 ^e	0.52±0.2 ⁱ	1.027±0.0 ^a	4.5±0.9 ⁱ

Nota: La tabla presenta las medias estadísticas seguidas de las desviaciones estándar (\pm). letras diferentes en la misma columna para el mismo parámetro evaluado indican diferencias significativas ($P<0.01$) según prueba de LSD.

Fase III. Evaluación de alternativas de uso del lactosuero ácido- estudio de factibilidad tecnológica

Para Torres, (2021, p. 64), la matriz de priorización es una herramienta multicriterio que permite evaluar distintas opciones respecto a juicios de interés para el problema en cuestión, con el objetivo de justificar una elección. Constituye una importante herramienta para el desarrollo del proyecto, debido que identifica, selecciona el o los productos que conformaran la línea de nuevos productos a base lactosuero ácido. Por medio de esta herramienta se determinan los criterios más importantes para prospectar el éxito del producto. Para su desarrollo, se aplicó la metodología propuesta por Amézquita et. al. (2017, p.6) con algunas modificaciones.

En el trabajo de Para Torres, (2021, p.64), la matriz de priorización se construyó con base criterio de los empresarios quienes tienen un rol representativo dentro del proceso productivo de elaboración de queso, los cuales aportaron al criterio de evaluación “*opinión empresarial*”. Para los demás criterios de evaluación que conforman la matriz de priorización, se elaboraron a partir de la revisión bibliográfica de estudios previos en investigación de mercados, específicamente para los productos lácteos identificados en la encuesta realizada a los empresarios de las empresas participantes.

A continuación, se presentan los resultados de la matriz de priorización aplicada por Torres, (2021, p 67) en donde se evidencia la selección del producto a elaborar a base del lactosuero ácido derivado del proceso de elaboración de queso doble crema.

En la Tabla 8 se presentan los criterios de evaluación aplicados en la construcción de la matriz de priorización.

Tabla 8.

Criterios de evaluación para la selección de una línea de nuevos productos en base al lactosuero ácido

No.	Criterio	Justificación	Puntaje
1	Opinión empresarial (Preferencia de la empresa)	Criterio evaluado a través de una encuesta a las empresas objeto de estudio.	25%
2	Margen de Ganancia	Mide la posibilidad de lanzar el producto al mercado. Se realiza una investigación a partir de fuentes primarias y secundarias para encontrar un porcentaje estimado del margen de ganancia que ha tenido cada producto por unidad vendida en el mercado nacional. Los datos utilizados son de productos ya existentes en el mercado que no contienen lacto suero.	25%
3	Ventas	Se realiza una investigación a partir de fuentes primarias y secundarias para encontrar un estimado del nivel de ventas que tiene cada uno de los productos a nivel nacional, el porcentaje de participación y aumento de ventas.	20%
4	Gestión del proceso	Mide el tiempo de desarrollo del producto, se establece con el número de procesos necesarios para fabricar cada producto.	10%
5	Desarrollo Tecnológico	Mide el desarrollo tecnológico (equipos) que se requiere para obtener dicho producto.	20%
Total			100%

Nota: La tabla consigna los criterios, justificación y puntaje que se aplican en la selección de productos a elaborar a base de lactosuero. Fuente: Torres, (2021, p 66), aadaptada de Amézquita et al. (2017, p.7).

Dentro de cada criterio se determinó una calificación (Tabla 9), la sumatoria de los mismos genera una escala cuantitativa en donde el mayor de los puntajes indico el o los productos seleccionados para generar una nueva línea de producción de un derivado del lactosuero ácido (tabla 10).

Tabla 9.

Criterios de puntuación matriz de priorización

Muy alto	6
Alto	5
Alto medio	4
Medio	3
Medio bajo	2
bajo	1

Nota: La tabla muestra los niveles de calificación para determinar el puntaje en cada criterio de evaluación Fuente: Torres, (2021, p 66), adaptada de Amézquita et al. (2017, p.7).

En la Tabla 10 se presenta el resultado final de la aplicación de cada criterio expuesto en la Tabla 8 y desarrollado por Torres, (2021, p 67).

Tabla 10.

Matriz de priorización producto a desarrollar a partir de lactosuero

Producto	Preferencia de la empresa (25%)	Margen de ganancia (25%)	Ventas (20%)	Gestión de proceso (10%)	Desarrollo tecnológico (20%)	Resultado
Bebida láctea fermentada con características similares al yogur	5	4	6	5	3	4,55
Queso ricote	6	3	4	3	4	4,15
Helados	4	2	3	4	2	2,9
Bebida energizante	2	5	2	5	5	3,65

Nota: La tabla consigna el resultado final de la aplicación de la matriz de priorización, en donde se evidencia el producto con mayor puntuación. Fuente: Torres, (2021, p 67), adaptada de Amézquita et al. (2017, p.7).

Los resultados de la Tabla 10, indicaron que el producto con el mayor puntaje es la bebida láctea fermentada con características similares al yogur con una calificación de 4,55 puntos, en una escala de calificación de 6 puntos.

Discusión de los resultados

Fase I: comparación de métodos

En la tabla 6, se muestran los resultados de la determinación estadística de la proteína donde los análisis establecen que el promedio por el método de referencia fue de $2,75 \pm 0,19$ y por el método Lactoscan fue de $2,75 \pm 0,08$. El valor del error determinado fue de 0,03%, indicando una exactitud de 99,98% lo que infiere una alta precisión para determinar el contenido de proteína de las muestras de lactosueros ácidos por el método Lactoscan. Los promedios evaluados presentaron diferencias estadísticas significativas para un valor $F < 4,747$ y un valor $P > 0,05$ por lo que se acepta la hipótesis nula, la cual indica que para los valores de proteína por el método de Lactoscan no difieren con los valores por el método de referencia. El coeficiente de correlación fue de 0,81, indicando un mayor grado de asociación que indica una relación lineal positiva.

La validación para el contenido de grasa (Tabla 6), muestra el promedio para el método de referencia de $2,02 \pm 0,90$ y para el método Lactoscan de $2,38 \pm 1,36$. El valor del error detectado fue de 18,06%, lo que corresponde a una exactitud de 81,94%. Los promedios evaluados presentaron diferencias estadísticas significativas para un valor $F < 3,87$ y un valor $P > 0,052$ por lo que se acepta la hipótesis nula, la cual indica que para los valores de grasa por el método de Lactoscan no difieren con los valores por el método de referencia. El coeficiente de correlación (0,96) arroja una variabilidad para ambos métodos, lo que representa una agrupación lineal positivo.

Los resultados estadísticos para los sólidos no grasos (Tabla 6), infieren en un promedio de $7,98 \pm 0,506$ para el método de referencia y de $7,99 \pm 0,56$ por el método Lactoscan, donde el valor del error determinado de 0,11% con una veracidad de 99,98% lo que comprueba una

exactitud al analizar del contenido de sólidos libres de grasa de las muestras de lactosuero ácido por el método Lactoscan. Estos promedios evaluados presentaron diferencias significativas para un valor $F < 0,01$ y un valor $P > 0,92$ por lo que se acepta la hipótesis nula, lo cual indica que los valores de SNG no difieren para ambos métodos. Por lo tanto, el coeficiente de correlación (0,90) señala que hay una agrupación cercana con correlación lineal positiva.

La determinación estadística de los resultados del contenido de lactosa (Tabla 6) arroja un promedio para el método de referencia de $6,25 \pm 0,36$ y de $6,35 \pm 0,40$ para el método Lactoscan. También se muestra una exactitud del 98,4% debido a un valor de error determinado de 1,60% lo que indica la precisión para determinar el contenido de lactosa de las muestras de lactosueros ácidos mediante el método Lactoscan. Los promedios evaluados presentaron diferencias significativas para un valor $F < 3,09$ y un valor $P > 0,059$ por lo que se acepta la hipótesis nula, la cual indica que para los valores de lactosa por el método de Lactoscan no difieren con los valores por el método de referencia. Así, existe un nivel de correlación positiva para ambos métodos debido al coeficiente de correlación (0,97).

La densidad (Kg/m^3) según la Tabla 6, muestra un resultado estadístico comparable, con una media de $1,027 \pm 0,001$ para ambos métodos (referencia y Lactoscan). Por lo tanto, el error determinado fue de 0,07% lo que significa una exactitud del 99,93%. Los promedios evaluados no presentaron diferencias significativas para un valor $F < 0,04$ y un valor $P > 0,84$ por lo que se acepta la hipótesis nula, la cual indica que para los valores de densidad no difiere para ambos métodos. El coeficiente de correlación (0,96) infiere en un mayor grado de asociación en torno a la media debido al comportamiento homogéneo de los datos.

Finalmente, las estadísticas de pH (Tabla 6), presentan un valor promedio para el método de referencia de $4,60 \pm 0,1323$ y $4,53 \pm 0,16$ para el método de Lactoscan. Se encontró el valor de error determinado de $-1,43\%$ lo que muestra un error por defecto, sin embargo, hay una alta precisión entre los dos métodos. Los promedios evaluados no presentaron diferencias significativas para un valor $F < 3,72$ y un valor $P > 0,053$ por lo que se acepta la hipótesis nula, indicando que para los valores de pH por el método de Lactoscan no difieren con los valores por el método de referencia. Por lo tanto, el coeficiente de correlación de $(0,96)$ refleja una relación significativa positiva.

Fase II. Caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos

Contenido de sólidos no grasos SNG (%m/m)

El contenido de sólidos no grasos de las muestras de lactosuero ácido entre las empresas en estudio presentaron diferencias significativas para un valor $p = 0,0134$ al 95% de confiabilidad (Tabla 7); entre las empresas hay diversos factores que condicionan la no homogeneidad en el contenido de SNG como puede ser el origen de la leche, el almacenamiento después del ordeño, cantidad de proteína y lactosa, el tipo de queso que se elabore y el tratamiento térmico de la leche. Se identificó que, dentro de cada empresa, a nivel de cada fecha de muestreo no se registraron diferencias estadísticas ($p = 0,0931$), esto conduce a indicar que las empresas obtienen la materia prima del mismo origen y de los mismos proveedores muy seguramente para conservar las características técnicas del queso doble crema, la calidad de la leche o que el contenido de lactosa permanece constante en el suero. Estos lactosueros ácidos registran un contenido de SNG de $6,66\%$ a $7,43\%$ y en promedio de $7,04 \pm 0,22\%$ (figura 7), resultado similar al que expone Wolfschoon et. al., (2022, p.3) con un valor de $7,04\%$ y valores superiores a los expuesto por Smith et. al. (2016, p.3434) de $6,5\%$ y por Chen et. al., (2016, p.232) de $6,3\%$.

El comportamiento gráfico de control de calidad para sólidos no grasos-%SNG (figura 7) mostró un proceso con alta variabilidad esto significa que los sueros de cada empresa registran contenidos diferentes de sólidos no grasos y distantes entre sí, pero aun así, durante el tiempo de muestreo se registraron valores que se ubicaron dentro de los límites de control, por lo que se considera un proceso bajo control, esto soporta lo enunciado anterior al indicar la no existencia significativa al interior de cada empresa en cada fecha de muestreo. Para el mejoramiento del proceso y registrar menor dispersión de los datos con respecto al eje central o al promedio de los mismos, la carta de control de calidad sugiere la revisión de las variables de control del proceso especialmente en la fase de desuerado; en este sentido se debe realizar un seguimiento y control al proceso tecnológico toda vez que se observó que las muestras de cada empresa exhibieron lactosueros de color blanco lechoso (Figura 5), no característicos a los sueros normales que contienen riboflavina que le confiere el color amarillo-verdoso (Hernández et. al. 2022, p.1), esto sucede por la migración de sólidos del queso doble crema generando sueros con contenidos altos contenidos de proteína ligados a la caseína propia de la cuajada ocasionando mermas queseras. El suero ácido resultado del procesamiento del queso doble crema siempre registra un contenido bajo de proteína y lactosa; a menor valor de proteína hay menor contenido de sólidos no grasos (Darmali et al., 2022, p.1), de modo que condiciona el porcentaje de SNG en las muestras es el contenido de proteína más que la lactosa.

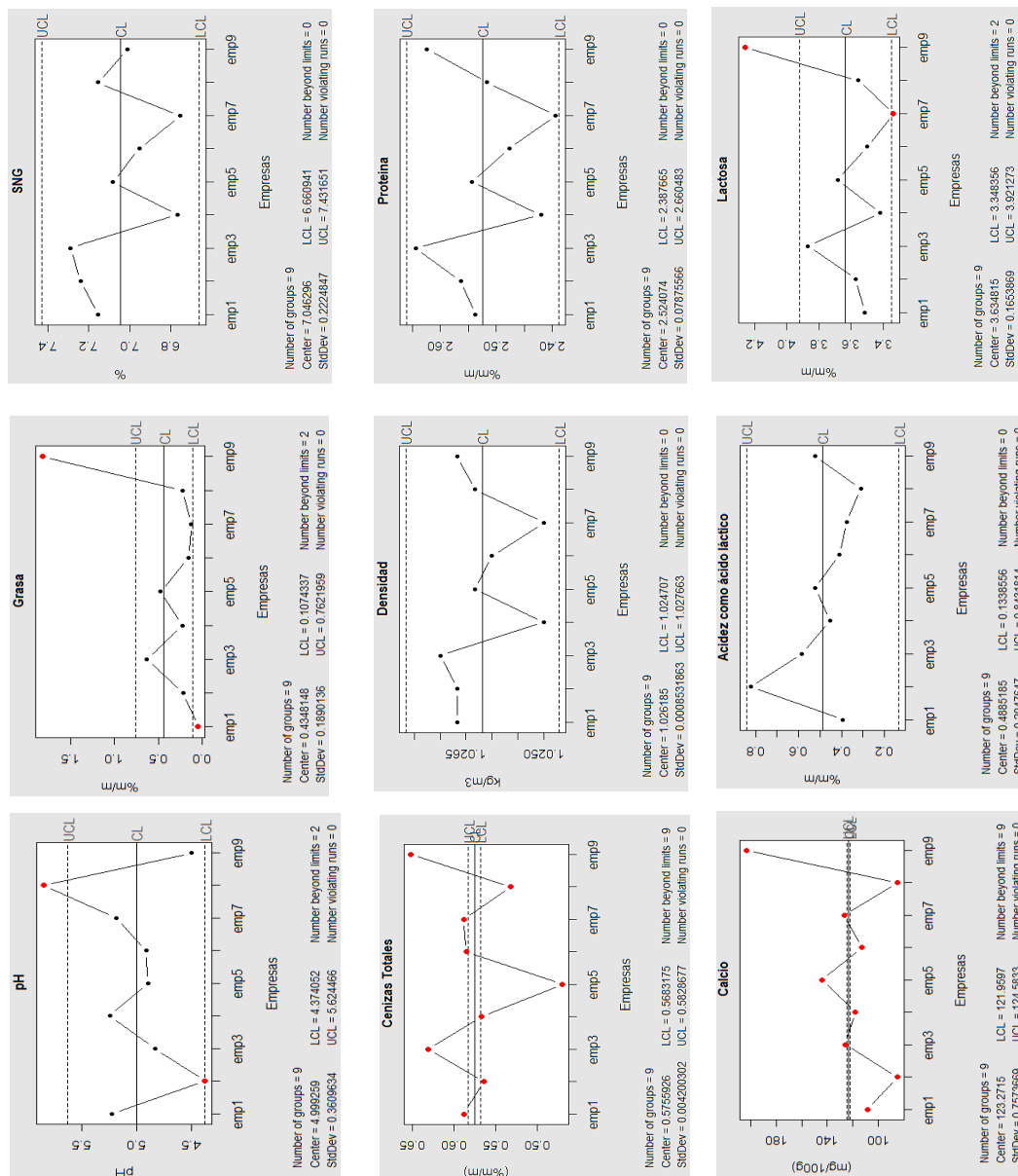
Contenido de proteína (%m/m)

Los resultados estadísticos para el contenido de proteína de las muestras de lactosuero exhibieron diferencias para un valor $p=0,0071$ (Tabla 7), del mismo modo el análisis entre fechas de muestreo al interior de cada empresa ($p=0,0476$). Estos resultados indican que cada empresa genera lactosueros ácidos con diferentes contenidos de proteína y a diferencia de los

resultado de %SNG, al interior de cada empresa, cada vez que se procesa queso doble crema hay una variabilidad que condiciona el contenido de proteína, esto como consecuencia de las falencias a nivel técnico que se expusieron en los resultados del %SNG cuando se indicó que realmente en cada empresa hay falencias técnicas en el proceso de producción del queso doble crema. El tiempo de coagulación, la firmeza y el tiempo de reafirmación de la cuajada son las etapas más importantes para describir un buen queso (Darmali et. al., 2022, p.1), si dichas etapas no son controladas, no se puede indicar que la cantidad de proteína en los sueros ácidos sea realmente fracciones de lactoalbúminas y lactoglobulinas y se infiere que dichos sueros contienen sólidos de caseína α S1, caseína α S2, caseína β y caseína κ Han et. al., (2021, p.1); Ketto et. al., (2017, p.55). El contenido de proteína para las muestras de lactosueros fue de 2,38% a 2,66%, en promedio $2,52 \pm 0,078\%$, valores superiores a los solicitados en la Resolución 23010/86 (0,7%), pero similar al mencionado por Simonis et.al., (2019, p.129) de 2,26%.

Figura 7.

Gráficos de control de calidad, (gráficos -X) para cada una de la determinación fisicoquímica de las muestras de lactosuero ácido.



Nota: La figura presenta los resultados del estadístico control de procesos- gráficos de control de medias. Fuente: software estadístico R versión 4.0.2.

Con base a la revisión de artículos, los valores obtenidos para proteína son variables y dependen del método de obtención del suero, cuando se aplica coagulación acida se pueden obtener sueros con contenidos entre 0,35%, 0,48%, 0,51%, 0,55%, o entre 0,63% a 0,85%

Rocha et. al., (2021, p.1265); Smith et. al., (2016, p.3437); Nielsen et. al., (2021, p.4); Bustamante et. al., (2021, p.3); Barreto et. al., (2018, p.103). El contenido de proteína puede aumentar cuando se aplica alguna tecnologías para el aprovechamiento del este subproducto, como la electrodiálisis que puede generar sueros con un 0,7% (Kravtsov et. al. 2020, p.2) o la nanofiltración que puede generar contenidos alrededor de 9,2% (Merkel et. al. 2021, p.4).

El gráfico de control de calidad (figura 7) para el contenido de proteína evidencia una alta variabilidad, indicando que aunque cada empresa procesa el mismo producto bajo la misma denominación, se generan procesos de obtención de queso de manera diferente, por lo menos en las etapas iniciales hasta la obtención de la cuajada; estos argumentos refuerzan la falencias mencionadas en el proceso especialmente en las etapas de desuerado y se infiere que es prioridad para el mejoramiento de proceso productivo evitar la migración de sólidos de caseína al suero, deduciendo que esto genera que los resultados exhiban sueros con altos contenidos de proteína, pero además de esto, las empresas en estudio no aplican tratamiento térmico a la leche; es conocido que omitir la pasteurización a la leche en la elaboración del queso doble crema no se incurre en fases de desnaturalización proteína y se puede conservar las fracciones solubles (β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina) en el suero que junto con otras proteínas menores (inmunoglobulinas, albúmina sérica y lactoferrina) pueden aportar al aumento del contenido de proteína. El tratamiento térmico a la materia prima es una práctica común para garantizar la seguridad microbiológica, sin embargo se ha demostrado que la pasteurización típica (72 °C, 15 s) desnaturaliza el 3,2 % de la proteína sérica y el grado de desnaturalización aumenta con la severidad del tratamiento térmico.(Britten y Giroux, 2022, p.3) por lo que sí se incluye esta etapa al proceso productivo también debe controlarse.

Contenido de lactosa (%m/m).

Los resultados para el contenido de lactosa (Tabla 7), en cada una de las muestras de lactosuero ácido registraron diferencias estadísticas ($p=0,0011$), indicando que las empresas trabajan leches de diferentes hatos y/o proveedores. Se infiere que cada empresa trata de conservar el mismo origen de la materia prima y la composición fisicoquímica de la leche, dado que ninguna empresa presento entre ellas mismas diferencia en el contenido de lactosa en las tres fechas de muestreo ($p= 0,8221$). Los lactosueros ácidos registraron un contenido de lactosa entre 3,34% a 3,92%, en promedio $3,63\pm 0,16\%$, valores que están por debajo al de la normatividad (4.5%), pero similares a los registrados por Párraga y Chávez, (2020, p.7) de 3,71% y en Pombo et. al., (2022, p.60) de 3,9% y 3,5%.

En el estudio Menchik et. al., (2019, p.3978), obtuvieron sueros con un contenido bajo de lactosa, entre 3,3 a 3,5% como resultado de la coagulación de la caseína al generar una reducción del pH ocasionando proceso de fermentación láctica o acidificación directa. Algo similar expresó Barreto et. al., (2018, p. 103) al obtener contenidos de lactosa de 3,8% a 5,3%, argumentando que valores menores en el contenido de lactosa se relacionan con la conversión de lactosa en ácido láctico. Acorde a los argumentos anteriores, esto reviste real importancia toda vez que en ausencia de acciones para la conservación de suero luego del desuerado se proporcionan todas las condiciones para que se desarrollen rutas fermentativas degradativas sobre el suero que no sólo condicionan la disminución de la lactosa sino el crecimiento de bacterias patógenas que vulneran el uso como materia prima del lactosuero ácido para otros procesos alimenticios.

El análisis del gráfico de calidad (Figura 7), evidencia un proceso fuera de control, es importe mencionar que el análisis del contenido de lactosa se realizó una vez se finalizó la etapa del desuerado y se dieron las condiciones de refrigeración para evitar el inicio de una fermentación láctica, sin embargo aun así se deduce que el pH propio de proceso de coagulación

ácida empleada en cada empresa puede condicionar la hidrólisis de la lactosa, la cual puede exacerbarse si no hay condiciones de refrigeración del suero. Aun así, las muestras de lactosueros ácidos son considerados fuente importante de lactosa y por ende da al suero un valor agregado, pero para esto es importante controlar el tipo de coagulación al igual que el pH, además es imperativo adoptar acciones de conservación del suero después de la etapa de desuerado, como lo hace notar Murillo (2018, p.29) quien argumenta que los lactosueros almacenados a 4°C evitan su degradación por efecto de la acidez y crecimiento bacteriano, de esta manera se puede proyectar el uso de lactosuero en la industria alimentaria, láctea y farmacéutica, así contribuir a reducir la carga de DBO y DQO del suero causada por la inadecuada disposición de este; Das et. al., (2016, p.27) destaca el uso de la lactosa del suero y su fácil hidrólisis en glucosa y galactosa, Argenta et. al., (2021, p.1), consideran que la lactosa hidrolizada ofrece ventajas tecnológicas y sensoriales como ejemplo mayor poder edulcorante, aporta cremosidad, evita la cristalización en helados y otros productos.

Contenido de grasa (%m/m)

De acuerdo con los resultados de la Tabla 7, el contenido de grasa en cada una de las muestras de lactosuero exhibió diferencias significativas ($p < 0,05$). Cuando se analizó el contenido graso dentro de cada empresa en las tres fechas de muestreo, no se evidenció diferencias ($p = 0,778$). Los resultados relacionan los razonamientos expuestos anteriormente conforme a que las empresas tratan de conservar al interior de cada una de ellas el mismo proceso de elaboración del queso doble crema, pero que todas difieren entre sí, por lo que cada empresa genera lactosueros con diferentes contenidos de grasa.

Estos lactosueros registraron contenidos grasos en un rango de 0,10% a 0,76%; en promedio de $0,43 \pm 0,18\%$, valores que se ubican en el rango de otros estudios como Seguel et. al.,

(2020, p.3920) de 0,59%; Wolfschoon et. al. (2022, p.3) de 0,65%; Rocha et. al., (2021, p.1269) de 0,39% y en Lajnaf et. al., (2020, p.3) de 0,5%.

De acuerdo al comportamiento del gráfico de control de calidad (Figura 7), para el contenido de grasa, se aprecia muestras con una amplia variabilidad en el contenido etéreo. Los datos en función al eje central o al promedio registraron una mayor dispersión y el 22% de los datos se ubicaron fuera de los límites de control, esto indica que la forma de procesar queso doble crema en cada empresa influye de manera directa, específicamente en el porcentaje de leche descremada que se emplee en la formulación, condicionado el aumento o disminución del contenido de sólidos totales en el suero.

El análisis de los valores de grasa obtenidos de otros estudios son variables que dependen de las condiciones de procesamiento, es decir la adición de leche descremada y el tratamiento térmico de la leche para la elaboración del queso (Shelke et. al. 2022, p.2), pero el factor de mayor influencia es la calidad de la leche, la cual depende de la raza y dieta del animal, aportando leches que para tal fin dejan en el suero un contenido graso de 0,3% (Báez et. al. 2019, p.12) hasta 3,34% a 4,28%, por el ordeño de la mañana (Seguel et. al. 2020, p.3924). Por otra parte Furtado (2017, p.2) enfatiza los factores que inciden en la pérdida parcial de los componentes de la leche en el suero y tiene que ver con la forma la velocidad del corte de la cuajada y el tamaño, en donde la intensidad del movimiento inmediatamente después del corte tiene un efecto significativo en la pérdida de grasa.

Densidad (kg/m³)

La densidad en los lactosueros presento un análisis estadístico que comprueba que entre las empresas no hay diferencias para un valor de $p= 0,0832$ (Tabla 7), este mismo resultado se obtuvo cuando se analizaron muestras de lactosuero entre las tres fechas de muestreo al interior de cada empresa ($p= 0,0988$). Los lactosueros ácidos oscilaron en un rango de 1,024 kg/m³ a

1,027 kg/m³; en promedio $1,026 \pm 0,0001\%$, resultados similares expuestos en estudios por Skryplonek et. al., (2019, p.7775) con un valor de 1,025g/ml y en Pombo et. al., (2022, p.2) de 1,028 g/ml.

El comportamiento del gráfico de control de calidad para densidad (Figura 7) presenta un patrón de estabilidad en el sentido que la mayoría de los puntos están dentro de los límites de control, pero lejos del promedio de los mismos; esta dispersión de los datos es indicativo y confirma la constante disparidad entre empresas en la forma como elaboran el queso doble crema y la falta de control en la etapa más crucial como es el desuerado, en donde se transfieren sólidos al suero, en algunos tiempos puede que se controle el paso de finos de caseína como en otros no; un control del proceso generaría la ubicación de los datos sobre el eje central, por lo que son válidos los argumentos que se han emitido sobre la forma como se viene desarrollando las etapas de corte, agitación y desuerado las cuales se realizan de manera diferente en todas las empresas generando la constante migración de sólidos de caseína a la fase sérica.

Acidez como ácido láctico (%m/m)

El porcentaje del contenido de acidez en cada una de las muestras de lactosuero presentaron diferencias significativas (Tabla 7) para un valor $p= 0,0486$, este mismo comportamiento se obtuvo al interior de cada empresa entre fechas de muestreo ($p=0,0131$), en cada una de las empresas, la acidez del suero depende del método de acidificación de la leche dado que el contenido de ácido láctico cuantificado corresponde al proceso de elaboración y no el generado por rutas metabólicas degradativas, tal como se analizó en el apartado del contenido de lactosa. El valor del contenido de ácido láctico se encontró en un rango de 0,84% a 0,13% y en promedio de $0,48 \pm 0,20\%$ valor muy cercano a lo solicitado en la normatividad (0.40%) y en otros estudios, por ejemplo en Skryplonek et. al., (2019, p.7775) reportó un valor de 0,49%, en Mejía et. al., (2019, p.15) de 0,44% y en Menchik et. al., (2019, p.3982) de un

0,43%. El gráfico de control de calidad (Figura 7) para el contenido de ácido láctico exhibe un proceso estable en el sentido que no hay puntos fuera de control, pero no homogéneo; aunque el valor medio se ubica dentro de la norma que aplica para lactosuero el comportamiento de los datos exhibe sueros ácidos con valores inferiores a 0,55%, lo que condiciona su aprovechamiento industrial dado que altos contenidos de ácido láctico generan problemas técnicos en procesos como el secado. En el contexto real, los lactosueros luego del proceso de desuerado no son sometidos a ningún método de conservación, tal cual como se argumentó en el apartado del contenido de lactosa, esto propicia que aumente el contenido de ácido láctico por acción de bacterias fermentativas que condicionan la calidad del suero Tsermoula et. al., (2021, p.235); Merkel et. al., (2021, p.3); Asunis et. al., (2020, p.6)

pH

Los resultados que se presentan en la Tabla 7, arrojaron diferencias significativas a un valor de $p=0,0186$, evidenciando nuevamente que en cada empresa aplica diferentes procesos de coagulación de la leche, ya sea por coagulación ácida o bien por coagulación mixta pero conservando las mismas prácticas al interior de cada empresa toda vez que no se registraron diferencias entre las tres fechas de muestreo ($p=0,9086$), es decir que el valor de pH tiende a ser constante entre cada lote de producción. El valor de pH se registró en un rango de 4,37 a 5,62 y en promedio de $4,99 \pm 0,36$ valores muy semejantes a los reportados por Vega et. al., (2020, p.2) de 5,21; Zolfaghari et. al., (2022, p.2) de 4,7; Nova et. al., (2021, p.5) de 4,86 Ganju y Gogate (2017, p.85) entre 4,6 a 5,0. El gráfico de control de calidad (Figura 7) exhibe un proceso variable con datos dispersos con respecto al valor central, es un proceso no controlado, dado que en cualquiera de las empresas puede generar sueros con valores por fuera de los límites superior e inferior, lo que demuestra la falta de estandarización de las etapas de coagulación si se tiene en cuenta que el proceso conduce elaborar un producto denominado de la misma forma “queso

doble crema". En el mismo sentido que se argumentó para el contenido de ácido láctico, si el proceso estuviera estandarizado todos los puntos estarían muy cercanos sobre el eje central; esto habla de la falta de estandarización del proceso, especialmente en la forma de acidificación del suero, en donde se evidenció que algunas de las empresas adicionan una mezcla de suero ácido con enzimas (cuajo), o la acidificación se lleva a cabo con leche agría, pero también se realiza con la aplicación directa de ácido láctico u otros ácidos orgánicos como el ácido acético comercial.

Contenido Cenizas Totales (%m/m)

Las muestras de lactosuero ácidos (Tabla 7), presentan diferentes contenidos de cenizas totales ($p < 0,05$), pero con un contenido constante en los resultados frente a las tres fechas de muestreo ($p = 0,533$). El contenido de cenizas en los lactosueros registraron valores entre 0,56% a 0,58% y en promedio $0,57 \pm 0,004\%$, valores inferiores a lo requerido en la normatividad (0,80%) y en los reportes de Rocha-mendoza et. al., (2021, p.1265), Merkel et. al., (2021b, p.3), Menchik et. al., (2019, p.3981), Lievore et al., (2015, p.2086) y Shelke et. al., (2022, p.2), registraron valores de 0,67%, 0,64%, 0,61% y 0,43%; manteniendo una tendencia variable.

El gráfico de control de calidad para el contenido de cenizas (Figura 7) exhibe resultados atípicos y fuera de control, entendiéndose que no hay un valor determinado o un rango en el cual se pueda indicar la tendencia de un contenido de minerales; por lo cual no se da cumplimiento a la resolución 02310/86. El contenido de cenizas puede variar en función de muchos factores que van desde el tipo de ganado, la alimentación y el estado de salud, pero también es importante indicar que la no estandarización o la falta de control en las variables del proceso de elaboración del queso doble crema y la forma de procedimiento de etapas como el desuerado también pueden condicionar el contenido de minerales, pero aun así, los sueros ácidos obtenidos del proceso de elaboración del queso doble crema, pueden ser buena fuente de minerales como calcio, fósforo,

zinc, cobre, potasio, aluminio, magnesio, manganeso, sodio y boro. Rocha-mendoza et. al., (2021, p.1267) manifestaron que el lactosuero ácido es un potencial rico en minerales, por lo tanto, las técnicas e investigaciones para el aprovechamiento de este subproducto también han incluido la recuperación de minerales generando enfoques innovadores y aplicaciones en alimentos fermentados, bebidas deportivas, refrigerios y fórmulas infantiles, por citar algunos ejemplos.

Contenido de calcio (mg/100g)

El contenido de calcio en las muestras exhibió diferencias para un valor $p < 0,05$ entre las empresas (Tabla 7), pero no difieren entre fechas de muestreo ($p = 0,252$). Las muestras de lactosuero ácido pueden registrar contenidos de calcio entre 121,9 mg/100g a 124,5 mg/100g en promedio de $123,2 \pm 0,75$, resultados cercanos a los encontrados en los estudios de Tarapata et. al., (2022, p.1) entre 103 a 140 mg/100g y en Menchik et. al., (2019, p.3981) de 121 mg/100g.

Con base al gráfico de control de calidad para el contenido de calcio (Figura 7), se exhibe un comportamiento de inestabilidad dado que todos los puntos están por debajo del límite inferior y por encima del límite superior. Acorde a los argumentos mencionados para el contenido de cenizas totales, no se puede indicar que los sueros contengan la misma composición de calcio ya que algunos exponen mayor cantidad que otros y no hay un rango definido que los caracterice. El comportamiento gráfico de control de calidad soporta la afirmación que las empresas no tienen estandarizado un único método de coagulación, por eso la alta variabilidad en los datos, lo que puede generar una migración del calcio de las caseínas presente en la fase micelar coloidal hacia la fase sérica, debido a que el pH que se registra en la etapa de coagulación permite la formación de dihidrógeno fosfato de calcio el cual es más soluble y queda en el suero lácteo. Desde la posición de Nielsen et. al., (2022, p.225) resalta que el calcio se transfiere al suero después de la coagulación de la proteína en la producción de la cuajada, así

mismo los iones de calcio pueden unirse a otros compuestos como fosfatos, α -lactoalbúmina, algunos péptidos, bases conjugadas de ácidos orgánicos, como el lactato y la lactosa y sus correspondientes monosacáridos, lo que condiciona la variación de calcio en los sueros. Tanguy et. al., (2019, p.175) indica que el suero ácido, por los valores de pH que registra, contiene más minerales que el suero dulce debido a la solubilización de calcio coloidal y fosfato inorgánico durante la acidificación de la leche. Se sabe que la acidificación afecta tanto la estructura interna como la superficial de las micelas de caseína, el fosfato de calcio coloidal disocia la carga neta de las micelas de caseína disminuye y las caseínas se liberan en la fase sérica (Zhao y Corredig, 2016, p.446). De acuerdo con Masotti et. al., (2020, p.349) solo una concentración despreciable de calcio (0,1 mM) se asocia a la α -lactoalbúmina y la mayor parte en forma de fase micelar/coloidal, por lo que el calcio desempeña un papel en varios fenómenos, como la gelificación del cuajo y del ácido, la firmeza del coágulo y la formación de sedimentos, esto es importante considerarlo, dado que la falta de estandarización del proceso de coagulación de la leche puede estar afectando la calidad técnica del queso doble crema. Bolwig et. al., (2019, p.165) refiere que un suero ácido con un contenido de calcio de 136,8 mg/100 g es un suero de caseína, que se genera de la producción de caseinato de calcio derivado de la proteína producida a partir de la caseína (proteína de la leche) en la leche descremada, por lo tanto, una vez más es imperativo recomendar la estandarización del proceso de obtención del queso doble crema y mejorar el rendimiento quesero.

Los resultados de la fase II indicaron que los lactosueros generados del proceso de elaboración de queso doble crema son ricos en proteína, minerales, lactosa y bajos en grasa lo que es atrayente para la elaboración de productos alimenticios utilizando todos los componentes del suero y no se requiere procesos de separación o fraccionamiento. A continuación, se

enuncian algunos productos que podrían elaborarse a base de lactosuero: Galletas y bebidas tipo coladas. El contenido de lactosa, proteína y calcio proporciona una buena fuente de nutrientes para población con necesidades especiales de nutrición. Para ello es necesario pasteurizar el suero una vez sale del proceso de desuerado así: elevar la temperatura a 70°C a 73°C por 30 segundos, luego hacer descender la temperatura en 35 minutos hasta 24°C; este tratamiento térmico permite almacenar el suero entre 2°C a 5°C en condiciones de asepsia hasta 26 días cuando es envasado en condiciones herméticas, cuando son grandes volúmenes, es imperante la disponibilidad de tanques de enfriamiento para mantener el suero hasta por 5 días. El tratamiento térmico descrito evita el crecimiento de Coliformes Totales y Escherichia Coli, siempre y cuando se mantenga las buenas prácticas de manufactura en la línea de proceso.

Bebidas lácteas fermentadas funcionales (lácteos bioactivos). Se puede utilizar el lactosuero ácido como sustituto parcial de la leche. Es necesario ajustar pH a valores entre 6.4 a 6,8; se permite la utilización del tartrato de sodio o potasio como reguladores de acidez según el Codex Alimentarius para productos lácteos y derivados. Los componentes como lactosa y minerales son excelentes sustratos para los procesos fermentativos. Se pueden utilizar cultivos iniciadores que generen sobre las proteínas del lactosuero, péptidos bioactivos con diferentes funciones, entre las que se pueden resaltar: péptidos antihipertensivos, antioxidantes, antimicrobianos, antitrombóticos. Este es un modelo de negocio atrayente, dado que hoy en día se busca productos que generen beneficios para la salud.

Elaboración de helados. Es factible la elaboración de helados de fruta; los sólidos de proteína pueden ser una opción para reemplazar sólidos de grasa y generar productos bajos en este componente, además se tiene la ventaja que el lactosuero ácido no aporta mayores proporcionales de grasa. Es importante mencionar que el producto terminado, durante el

almacenamiento congelado puede presentar cristalización (pequeños cristales de lactosa que hacen que el helado tenga textura arenosa), esto se puede evitar con tratamiento de hidrólisis de la lactosa, lo que aumenta los costos de producción.

Elaboración de bebidas frutales deportivas y energizantes. Dado que el suero ácido aporta minerales como potasio, fósforo, sodio y calcio, considerados como electrolitos que ayudan a la recuperación de energía, además el contenido de lactosa aumenta el aporte calórico de consumo rápido, para ello es necesario hidrolizar la lactosa lo que aumenta los gastos de producción.

Ricota. Es el producto que con más frecuencia se elabora del lactosuero ácido. Es un producto que tiene un posicionamiento en el mercado, pero consume grandes cantidades de energía, no se utiliza 100% de sus componentes y genera el suero de ricota que contiene altos contenidos de lactosa y minerales; el desecho de este producto es vertido a los efluentes de agua. El suero de ricota podría ser empleado para la obtención de edulcorantes previa hidrólisis de la lactosa o para la elaboración de empaques biodegradables.

Fase III. Evaluación de alternativas de uso del lactosuero ácido- estudio de factibilidad tecnológica

Localización

Las microempresas productoras de queso doble crema participantes en el estudio, se encuentran ubicadas en el departamento de Boyacá, en el municipio de Belén (Figura 8) ubicado en la provincia de Tundama, al norte del departamento. El municipio se localiza a una distancia de 85 Km al Noreste de Tunja, la capital del departamento de Boyacá y a 234 Km al Noreste de la capital del país, se encuentra localizado en la parte media de la cordillera oriental (Alcaldía Belén 2020-2023).

Empresas participantes

En la Tabla 11 se presenta la información de las empresas participantes. Las empresas que elaboran queso doble en el municipio de Belén (Boyacá) se caracterizan por ser unidades económicas que clasifican en el orden de microempresa, debido al número de trabajadores en cada una de ellas (menor 10), esto de acuerdo con lo estipulado en la NTC 600. Se han especializado en la elaboración de quesos frescos mediante la transformación de la leche empleando tecnología semi industrial, pero aún se llevan a cabo dentro del proceso productivo prácticas artesanales.

Tabla 11.

Ubicación de empresas procesadoras de queso doble crema en el municipio de Belén

Empresa	Dirección	Empresa	Dirección
Llano grande	Calle 12 n 6 64 barrio la florida	Lácteos Nazareth	Calle 9 No 5-33
Lácteos Ibel	Calle 8 n 7 53	Lácteos la pastora	Cra 6 No 8 57 Belén
Villa esperanza	Vía principal salida a Cerinza	Lácteos Hedybed	Calle 10 N 4 17 barrio Simón Bolívar
Lácteos Belén	Cra 6 N 8 110	Lácteos la Nevada	Calle 12 N 6 61
Quesos Cerinza	Calle 8 N 12 30 ubicada en municipio Cerinza		

Nota: En la tabla se observa las empresas que participaron en el estudio. Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la capacidad instalada

La capacidad del proyecto se determinó con base en la cantidad de lactosuero que generan cada día de producción las nueve empresas procesadoras de queso crema del municipio Belén Boyacá, como se muestra en la Tabla 12. Se puede indicar que cada empresa procesa en promedio 2324 litros de lactosuero ácido por día de proceso, siendo esta cantidad la base de referencia como materia prima para la elaboración de la bebida láctea fermentada con características similares al yogur.

Tabla 12.*Cantidad de suero obtenido por empresas productoras de queso doble crema*

Empresa	Cantidad suero L/día	Días de proceso/ semana
La nevada	1200	7 días
Llano grande	1200	7 días
Villa Esperanza	1260	7 días
Queso Cerinza	3600	7 días
Lácteos Belén	2000	7 días
Queso Nazareth	2600	7 días
Hedybed	5500	7 días
Lácteos Ibel	1600	7 días
lácteos la Pastora	1960	7 días
Promedio producción	2324	7 días

Nota: la tabla presenta la cantidad de suero ácido que genera cada empresa cuando procesa queso doble crema por día de producción. Fuente: Cálculos del estudio.

La formulación propuesta para la elaboración de la bebida láctea fermentada se muestra en la (Tabla 13).

Tabla 13.

Formulación propuesta para elaborar una bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido derivado de la producción del queso doble crema.

Suero lácteo	Leche descremada	Insumos	Bebida láctea fermentada
20%	30%	50%	100%
2324 L/día	5426 L/día	49.65Kg	10857.79 kg/día

Fuente: Cálculos del estudio. Elaboración propia.

Con base al procedimiento en la formulación de este tipo de bebidas fermentadas, autores como Castells et. al., (2017, p.52) y Skryplonek et. al., (2019, p.7775), indican trabajar un porcentaje de leche de hasta el 50% que para nuestro proceso será del 30% de acuerdo a la disposición y/o recolección de la leche en cada hato, con el objetivo de aumentar la viscosidad y las características organolépticas del producto final y un 20 % de lactosuero para aprovechar los nutrientes como: lactosa, proteínas solubles, lípidos, minerales, vitaminas y ácidos orgánicos. El 50% restante estará complementado en insumos (49,65kg) resultado regido a partir de las

Tabla 14.*Producción anual*

Cantidad	Detalle
8.176000kg	bolsas de 250 g
1.825000 kg	bolsas de 1L
10.001000 kg	Total, kg en un año

Nota: La tabla presenta la producción de bebida láctea fermentada en un año y la distribución en unidades (bolsas) de presentación, la cual puede variar de acuerdo con el productor. Fuente: Cálculos del estudio

Descripción del producto

La bebida láctea fermentada a partir de lactosuero ácido con características similares al yogur con sabor a mora, es un producto de consistencia semisólida resultante de la conversión de la lactosa de la leche en ácido láctico por la acción de microorganismos de géneros mixtos como: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium lactis*, que son especies termófilas cultivadas sobre una mezcla total de leche y suero a temperatura media (42 – 45°C), que permiten la formación de una capa coloidal que le da una especificidad final en conjunto.

La Figura 10, presenta una propuesta de etiqueta de la bebida láctea fermentada a partir de lactosuero ácido, cultivos probióticos con dulce de mora en presentación de 1 litro.

Figura 10.

Etiqueta para la bebida láctea fermentada a base de leche suero y cultivos probióticos con dulce de mora



Nota: En la imagen se observa una posible presentación de la bebida láctea a base de lactosuero. Fuente: Tomada y adaptada (Google, s.f.). [Lácteos el portillo].

Las bebidas fermentadas agrias son consideradas por los consumidores como un alimento saludable debido a la presencia de bacterias activas y vivas que promueven la salud intestinal (Wan, et. al. 2021, p.1). Una bebida láctea fermentada es por tanto el producto obtenido de la fermentación aséptica de la leche, o los productos obtenidos de este proceso, que, por la acción de microorganismos adecuados, producen una disminución significativa del pH o la nula coagulación (CODEX STAN 243, 2003, p. 1). Estos cultivos persistirán, funcionarán y serán abundantes en el producto hasta el final de su vida útil y con o sin la adición de otros ingredientes y aditivos permitidos. Desde la perspectiva de los autores Sakandar y Zhang (2021, p.56) destacaron las bebidas de leche fermentada como uno de los mejores alimentos utilizados para la elaboración de alimentos funcionales, por el hecho evidente de que es un alimento saludable que se consume regularmente en las dietas a nivel mundial, así como una atractiva aceptación organoléptica y larga vida útil, facilitando la distribución, consumo y venta del producto.

En la definición de de Castells y Muset (2017, p.28), muestra la bebida de leche fermentada a base de suero ácido como un alimento de consistencia líquida debido a una mezcla de leche y suero. En este sentido, las bebidas a base de suero de leche son excelentes portadores de bacterias probióticas para ser consideradas alimentos funcionales ya que sus beneficios para la salud pueden deberse a la presencia de los propios microorganismos o a sus constituyentes. Durante la fermentación se producen otras fracciones bioactivas; cabe señalar que un ingrediente bioactivo específico en las bebidas de leche fermentada es el lactato, el principal metabolito producido durante la fermentación, que media las respuestas proinflamatorias causadas por los protozoos inducidos en las células epiteliales y mieloides. (Bengoa, et. al. 2020, p. 2). La bebida de leche a base de lactosuero ácido y con características similares al yogur ofrece importantes beneficios para la salud ya que está fortificada con bacterias probióticas (Cordeiro et. al. 2019, p. 6757) como YOMIX 205 LYO 250 DCU, cultivo mixto cultivado en composición bacteriana como: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium lactis*, (Ficha, 2021, p.1), cepas de bacterias del ácido láctico que fermentan funcionalmente, lo que permite una fermentación alternativa para producir péptidos bioactivos (Zhao y Ashaolu, 2020, p.1), que permite optimizar el valor nutricional y la digestibilidad de la bebida, reducir la lactosa, controlar posibles infecciones y además incluye la adición de bioactivos funcionales. (Kapasob, et. al. 2017, p.141). En general, la bebida láctea a partir de suero ácido es un producto fermentado donde uno de sus ingredientes es el suero ácido (Janiaski, et. al. 2016, p. 1), atribuida en nutrientes como lactosa, proteínas solubles, lípidos, minerales, vitaminas y ácidos orgánicos. En lo que refiere a salud, el suero aporta una fuente de aminoácidos de alta calidad, acción antimicrobiana que mejora el crecimiento de la microflora intestinal beneficiosa, además aporta propiedades de mejora del sistema inmunológico, control

de enfermedades específicas (incluido el cáncer) y actividad antitoxina (Macwan, et. al. 2016, p.134). La comercialización y distribución del producto será representada en 2800 paquetes por ocho unidades de 250g y 5000 unidades en presentación de 1L. El tipo de empaque se define en bolsa plástica de tres capas de polietileno para mejor protección del contenido, creando una barrera al oxígeno y a los aromas. Por ende, su distribución será en almacenes de cadena y tiendas de barrio; su consumo va dirigido a personas en general especialmente entre niños, jóvenes y adultos mayores.

Descripción del proceso productivo

El sistema de producción de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido es semi industrial, se desarrolla a través de un conjunto de operaciones y procesos unitarios realizados durante la estandarización y producción, hasta el consumo final del producto terminado (Figura 11). Asimismo, estos también son controlados y monitoreados por personal autorizado en alimentos aplicando Buenas Prácticas de Manufactura en los equipos y/o utensilios y materias primas que requieren.

Cantidad a procesar y formulación del producto

La cantidad total de bebida láctea fermentada a procesar, se presenta en la Tabla 13; las materias lácteas están representadas por leche fresca entera en un 30% que corresponde a 5426 litros de leche entera y un 20% de lactosuero ácido que son 2324 litros para obtener un volumen de 7750 litros de mezcla de leche y suero. Dentro de la elaboración del producto se tiene como insumos: 20% azúcar blanca refinada, 0,025% estabilizante, 0,1% sorbato potásico, fermentación láctica Yomix 205 2,5%, salsa de fruta 16%, aromas artificiales 0,03% colorante mora y 0.5%. La formulación total para producir el 100% equivalente a 10857.79 kg/día de bebida láctea fermentada a base de lactosuero se presenta en al Tabla 15.

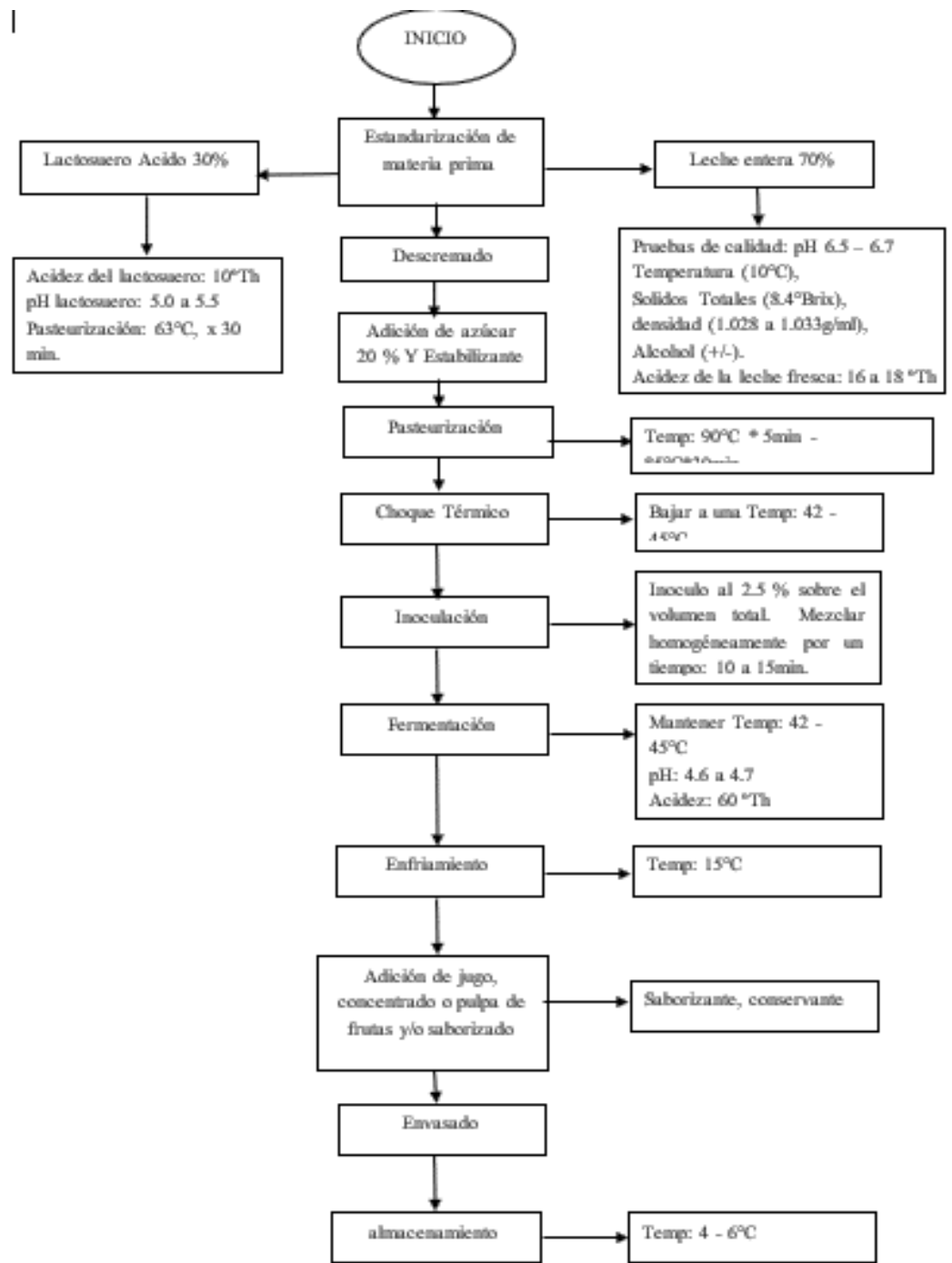
Tabla 15.*Materia prima e insumos para la elaboración de la bebida láctea fermentada*

Unidad de Producción: 7750 Litros				Peso: 7.742,24 kg (leche descremada, lactosuero).	
Materia Prima	Unidad de medida	Valor Unitario + IVA	%	Cantidad en la Formulaci ón	Valor unidad
Leche entera	Litros	1,125	30	5.426	61,042
lactosuero	Litros	1000	20	2.423	60,575
Estabilizante (Gelatina Saco 25)	kg	142.250	0.02	1.55	853,50
Azúcar. (Saco 50)	kg	74.996	20	1548,50	2322626,12
Conservante (sorbato de potasio) (Saco 25)	Kg	26.450	0.1	7.74	10040,42
Cultivos lácticos (YOMIX 205 LYO 250 DCU) (50) sobres	Caja	73.800	2.5	1,55	35345
Salsa de fruta					
Mora	kg	900	16	1238,80	1114920
Azúcar. (Saco 50)	kg	74.996	10	664,76	997086,81
Sabor Artificial a Mora (1000)	kg	36.028	0.03	2,84	102,31
Color rojo mora (No. 2 C.I. 16185, Azul No. 1 C.I. 42090) (1000)	Gramos	13.030	0.5	38.71	618,79
Empaque	Kg	10.500	-	8000	84000.000
Total					109.506.610

Nota: la tabla entrega información de los insumos para elaborar la bebida láctea a base de lactosuero ácido con características similares al yogur. Fuente: Elaboración propia.

Figura 11.

Diagrama de bloques para la elaboración bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido



Nota: La figura presenta las operaciones y procesos para la elaboración bebida láctea fermentada. Fuente: Elaboración a partir de datos de la investigación.

Descripción de materias primas e insumos

La leche

De acuerdo al decreto 616, (2006), la leche es el producto de la secreción mamaria normal de animales bovinos, bufalinos y caprinos lecheros sanos, obtenida mediante uno o más ordeños completos, sin ningún tipo de adición, destinada al consumo en forma de leche líquida o a elaboración posterior. Esta leche es proveniente de diferentes fincas y veredas de Belén (Figura 12), donde sus razas más predominantes son: Normando, Holstein, Pardo Suizo, Ayrshire y Jersey.

Figura 12.

Origen y obtención de la leche

SECTOR GANADERO										
VEREDA	BOSQUE	SAN JOSE DE LA MONTAÑA	MONTERO	DONACION	RINCON	MOLINO	TINRINQUITA	LA VENTA	TUATE	TOTAL
PRODUCCION Lt/día	17.500	2.800	3.500	2.500	8.500	6.500	5.600	3.600	1.750	52.250
VACAS EN PRODUCCION	2500	540	438	280	950	815	800	515	350	7.188

Nota: La recolección de la leche parte de las veredas del municipio de Belén con una producción L/día y vacas en producción de leche. Fuente: Plan de desarrollo municipal (Alcaldía Belén 2020-2023).

Al proceder de hatos debe cumplir con las características fisicoquímicas que se presentan en la Tabla 16 y en apéndice 6. Inmediatamente después de llegar a la sala de recepción, la leche debe refrigerarse a una temperatura de 4°C +/- 2°C posteriormente a su procesamiento.

Tabla 16.*Características de la leche cruda*

Parámetro/unidad	Leche Cruda	
Grasa % m/v mínimo	3.00	
Extracto seco total % m/m mínimo	11.30	
Extracto seco desengrasado % m/m mínimo	8.30	
	Min.	Max.
Densidad 15/15 g/ml	1.030	1.033
Índice lactométrico	8.4	
Acidez expresada como ácido láctico % m/v índice	0.13	0.17
°C crioscópico	-0.530	-0.510
°H	-0.550	-0.530

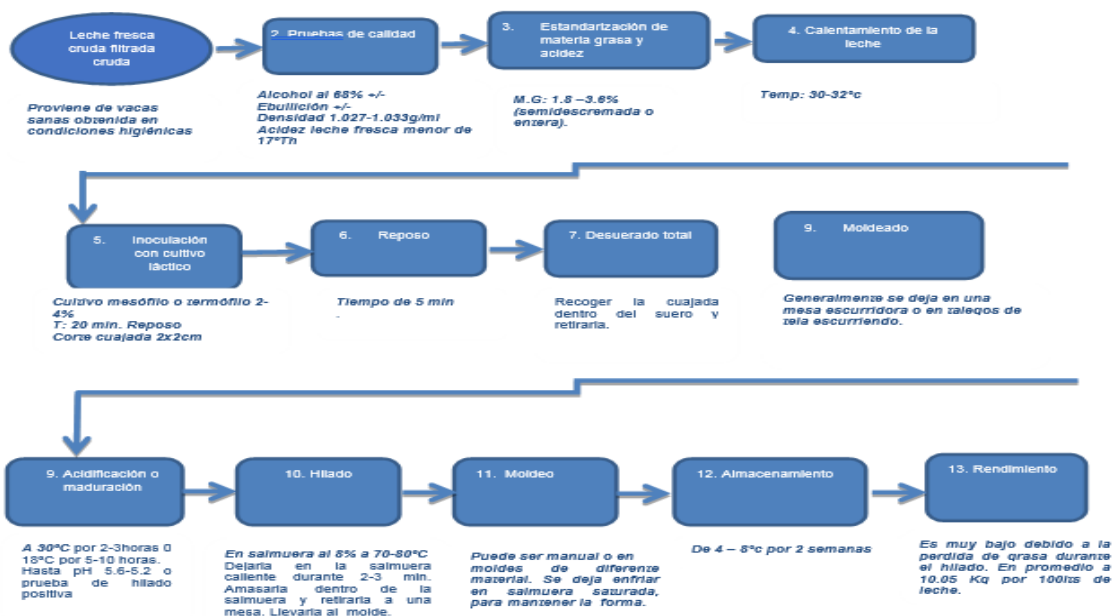
Fuente: Decreto 616/2006.

Lactosuero ácido

La Resolución 02310/86 define el suero líquido como producto residual obtenido en la elaboración del queso fresco o de la manteca (Figura 13), Contiene aproximadamente el 90% del volumen de la leche y transporta el 55% de los nutrientes de la leche, sus componentes principales son carbohidratos (lactosa), proteínas, a menudo llamadas proteínas de suero y minerales, (Beniwal et. al. 2021, p.1).

Figura 13.

Diagrama de flujo elaboración del queso doble crema, obtención del lactosuero ácido



Nota: La figura presenta el diagrama de flujo general de elaboración del queso doble crema. Dentro de la etapa de desuerado final el lactosuero es extraído por una bomba extractora con filtro, donde es depositado al tanque de almacenamiento para su posterior tratamiento. Fuente: elaboración propia.

La clasificación del suero y composición se presenta en la Tabla 17. Citando a los autores Rama et. al., (2019, p. 26) argumentan que un suero dulce presenta rangos de pH entre 5,8 a 6,6 y los sueros ácidos registran un pH entre menor 5.0.

Tabla 17.

Composición de suero dulce y suero ácido

	Suero dulce	Suero ácido
Sólidos totales	6.5	5.2
Lactosa	4.9	4.3
Proteína	0.8	0.6
Nitrógeno no proteínico (% del total)	22.0	27.0
Ácido láctico	0.15	0.75
Cenizas	0.56	0.46
pH	6.2	4.6

Nota: Dentro de la tabla se observan las características químicas del lactosuero dulce y ácido. Fuente: Datos tomados de (Badui, 2006)

El lactosuero para ser empleado como materia prima en la bebida láctea fermentada debe ser almacenado a temperaturas de refrigeración hasta su uso y luego debe ser pasteurizado para cumplir con las características que se solicitan en la Tabla 18.

Tabla 18.

Requisitos microbiológicos generales del lactosuero

Criterios Microbiológicos	n	m	M	c
Recuento de microorganismos aerobios mesófilos/g	3	1.000	10.000	1
Coliformes/g	3	Menor 10	-	0
Escherichia Coli/g	3	Menor 10	-	0
Staphylococcus Aereus/g	3	Menor de 100	100	1
Bacillus Cereus/g	3	100	1.000	1
Mohos y Levaduras	3	100	500	1
Salmonella /25g	3	0	-	0

Fuente: Datos tomados de Resolución, 1031/2010

Azúcar blanca refinada

Se emplea sacarosa purificada y cristalizada (sucrosa), debe cumplir con los requisitos exigidos por la resolución 333 de 2011 de rotulado o etiquetado nutricional que deben efectuar los alimentos envasados para consumo humano (Tabla 19).

Tabla 19.

Requisitos para el azúcar blanco

Requisitos Físicoquímicos	Límite
Polarización en grados sacarimétricos, a 20 °C, min	99.4
Cenizas, % m/m, máx.	0.15
Humedad, % m/m, máx	
Granulado	0.07
Moldeado	0.06
Color a 420 nm, UI, max	400
Turbiedad a 420 nm, UI, máx	400
Requisitos Microbiológicos	Límite máximo
NMP de coliformes/g	3
NMP de coliformes fecales/g	< 3
Recuento de bacterias mesófilas aerobias/g	< 200 UFC
Recuento de mohos y de levaduras/g	< 100 UFC
Requisitos microbiológicos (por métodos de filtración por membrana)	Límite máximo
Recuento de coliformes	80 UFC/10 g
Recuento de coliformes fecales	10 UFC/10 g
Recuento de bacterias mesófilas aerobias	200 UFC/g
Recuento de mohos y recuento de levaduras	100 UFC/g

Fuente: Datos suministrados de norma técnica colombiana (Icontec, 2018)

Gelatina tipo G (Estabilizante)

“Gelatina para uso alimenticio”, debe cumplir con los requisitos exigidos por la resolución 333/2011 y la resolución 5109/2005, de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano, debido a que actúa como sustituto de grasa en la bebida láctea fermentada, tiene la capacidad de estabilizar los sistemas y mejorar su percepción oral (Huang et. al. 2021, p.2). Su aplicación en la bebida láctea fermentada en dosis de 2-3g/l.

Sorbato de potasio (conservante)

Este insumo en polvo granulado de color blanco cremoso debe cumplir con los requisitos exigidos por la resolución 333/2011 y la resolución 5109/2005, de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano. Su función es actuar como conservante e inhibe el crecimiento de levaduras y hongos en la bebida láctea. Su dosis permitida se menciona dentro del Codex Alimentarius, (2016) nivel máximo 3 000 mg/kg calculados como ácido sórbico, para leche y productos lácteos.

Yomix 205 (Cultivo láctico)

Este insumo debe cumplir con los requisitos exigidos por la resolución 333/2011 y la resolución 5109/2005, de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano debido a que provee bacterias probióticas como aporte en leches fermentadas y excelente aroma (ver apéndice 7) ficha técnica del producto). Proporciona una inoculación mesófila, es un cultivo mixto que provee microorganismos probióticos en un mínimo de 10^6 de las cepas *L. Acidophilus* + *Bifidobacterium lactis* por ml en leche fermentada, provee una textura viscosa y un sabor limpio al producto final (Ficha, 2021, p. 2).

Mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth)

Definida mora andina por la tabla de composición de alimentos (2016.) debe cumplir con los parámetros organolépticos de color, olor, sabor, textura en exigencias de calidad y los requisitos para el consumo en fresco o como materia prima, para su procesamiento se verifican según la NTC 4106. Su función es ser transformada en una salsa de mora para endulzar la bebida láctea.

Sabor artificial mora polvo 1012358

Este insumo debe cumplir con los requisitos exigidos por la resolución 333/2011 y la resolución 5109/2005, de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano, su aplicación y dosis para la bebida fermentada es de 0.03-0.06%. Sus características específicas y microbiológicas se muestran (Tabla 20), para su almacenamiento el empaque se debe mantener herméticamente cerrados en un sitio fresco, seco y en ausencia de luz natural y artificial a una temperatura ambiente.

Tabla 20.

Características Físicoquímicas y microbiológicas del producto

Líquido Púrpura Soluble en Agua	
Absorbancia a 530nm e1%	0.50 – 060 4.2 – 4.7
Solubilidad	Soluble en agua
Partículas extrañas aspecto	Ausentes Líquido púrpura
Características microbiológicas	
Recuento total <1000ufc/g	
Levaduras <100ufc/g	
Hongos <100ufc/g	
Enterobacteriaceae	
Salmonella sp. ausencia en 25g	
Listeria sp. ausencia en 25g	
Staphylococcus aureus ausencia en 25g	

Fuente: Datos suministrados de ficha técnica Agrolechero, (2018).

Color rojo mora

Este insumo debe cumplir con los requisitos exigidos por la resolución 333/2011 y la resolución 5109/2005, de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano, para su condición de almacenamiento a una temperatura entre 0°C - 8°. La dosis recomendada para la bebida láctea es de 0,5 – 2,0 g/kg.

Empaque

Polietileno de Alta Densidad (PEAD) exhibe mayor rigidez y resistencia a la tracción. Las funciones del empaque para un sistema de bebida láctea fermentada para, Aggarwal & Langowski, (2020) las definen normalmente como “PCCC”, que significa Protección, Contención, Comunicación y Conveniencia. Deshwal et al., (2021, p.503), describen las diferentes opciones de empaque como ejemplo: combinaciones como papel de aluminio / plástico, papel / laminado de plástico, HIPS termoformado (poliestireno de alto impacto), envases de vidrio, poliestireno de alto impacto, botellas de HDPE (polietileno de alta densidad) y bolsas de LDPE (polietileno de baja densidad) son las opciones más comúnmente disponibles para productos lácteos fermentados tanto preparados como agitados.

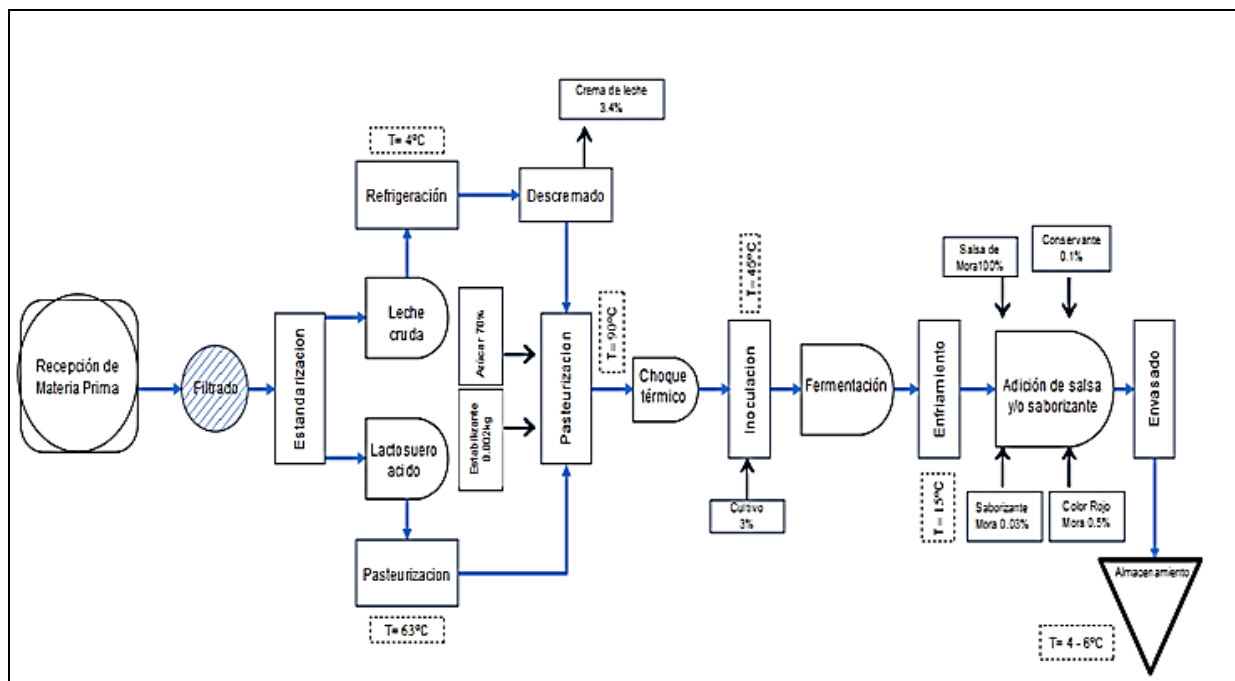
Caracterización del proceso

En las figuras 14 y 15 se observa el proceso de elaboración de la bebida láctea fermentada en donde se necesitan diez etapas; se requieren operaciones unitarias con el mezclado, el pasteurizado, el enfriamiento y la inoculación al igual de procesos unitarios como la fermentación, hay otras etapas como el envasado y almacenado. En la Figura 14, se visualiza el diseño de la línea de producción en cadena con relación a un proceso semi – industrial de la bebida láctea, teniendo en cuenta equipos tecnológicos (manual y automático) como son: Carro cisterna, tanques de almacenamiento y refrigeración, mota bomba, tanque de almacenamiento y pasteurización del lactosuero, descremadora, tanques de pasteurización, mezclado, inoculación y

fermentación, marmita de cocción, envasadora aséptica y cuarto frío. Dentro de este orden todo previamente acompañado por tubería y accesorios en acero inoxidable.

Figura 14.

Diagrama de flujo del proceso de elaboración bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido.



Nota: En el diagrama se observan la secuencia de las etapas de producción donde se observa las variables de temperatura y la cantidad de insumos expresados en porcentaje. Fuente: Elaboración partir de datos de la investigación.

Etapas del proceso de elaboración de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido

En este apartado se hace la descripción de cada una de las etapas que intervienen en la elaboración del producto y se realiza el debido balance de materia y energía.

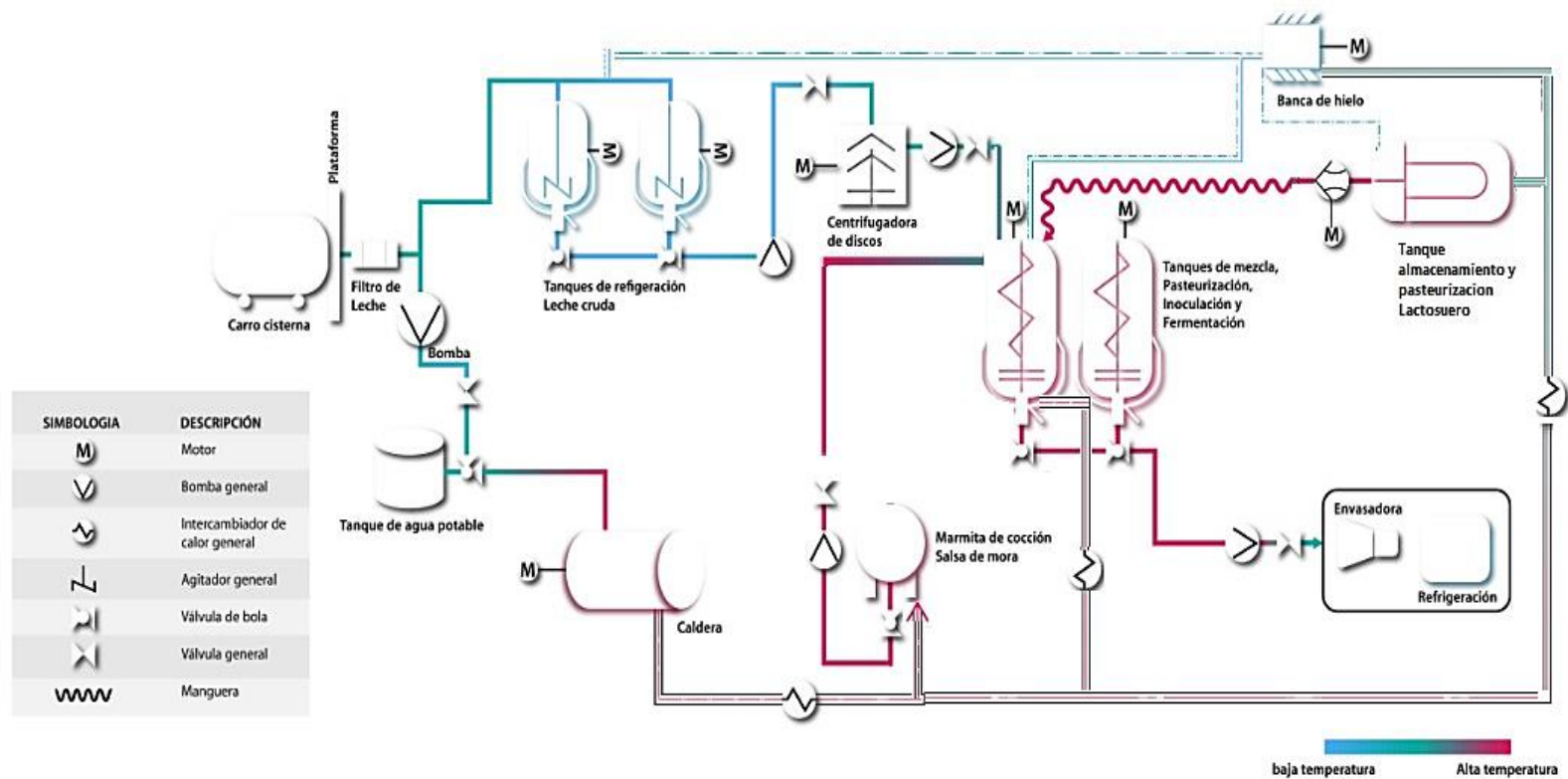
Etapa	Recepción de materia prima
	Recepción de leche cruda
Operaciones unitarias	Filtrado y enfriamiento.

Descripción: La optimización de las actividades de recepción y transporte de la leche para la elaboración de la bebida láctea fermentada son importantes porque permiten mejorar toda la cadena de suministro de leche a la planta (Zacharski et. al. 2021, p.1). Es relevante mantener

los sistemas de enfriamiento en adecuadas condiciones para garantizar la eficiencia del bombeo en la recepción de la leche cruda y mantener la cadena de frío hasta su posterior procesamiento. Una vez llega la leche en los camiones cisterna, se inicia el transporte hacia los tanques de almacenamiento a través de una bomba auto aspirante, pasando previamente por un filtro para separar posibles cuerpos. En la Figura 16, se esquematiza la etapa de recepción de leche fresca. Con base a la información de la Tabla 13, la cantidad de leche a procesar es de 5426 L/día, se requiere disponer de un tanque de 6000 litros. La revisión de cotizaciones y recursos en el mercado regional y nacional indican que no se dispone de equipos con esta capacidad, razón por la cual se debe contar con dos tanques cada uno con una capacidad de 3000 Litros. Antes de que la leche ingrese a la planta, esta debe ser verificada con las pruebas de plataforma parámetros requeridos por el decreto 616 de 2006. Inicialmente en cada uno de los tanques se almacenarán 2713 litros de leche, donde el tanque adopta un tiempo de 3 horas para bajar la temperatura ambiente y mantener el sistema de refrigeración a 4°C hasta el momento del proceso. Las variables que requieren seguimiento en esta etapa se mencionan en la Tabla 21.

Figura 15.

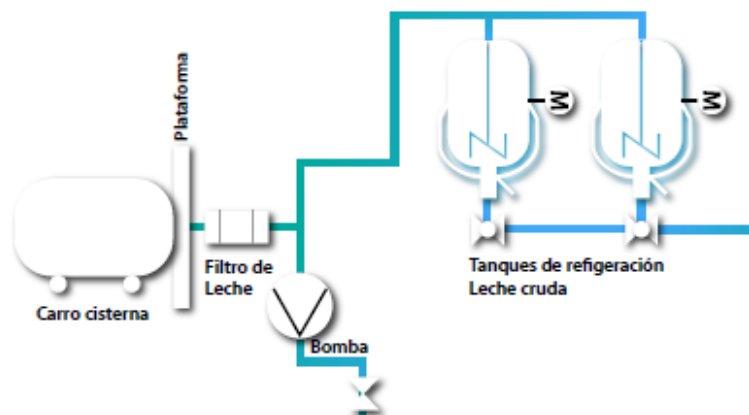
Diseño de la línea de producción bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido con características similares al yogurt.



Nota: La figura indica la secuencia y orden de equipos para la elaboración del producto. Fuente: Elaboración a partir de datos de la investigación.

Figura 16.

Etapa de recepción de leche fresca



Nota: La figura describe el descargue y bombeo de la leche cruda hacia los tanques de refrigeración y almacenamiento a través de tubería y succión por bomba extractora.

Tabla 21.

Variables a controlar en la etapa de recepción de la leche.

Etapa del proceso	Variable	Definición conceptual	Unidad de medida
Recepción de la leche	Cantidad total de leche	La cantidad total de leche del carro cisterna hacia los tanques.	5426 L
	Buenas prácticas de ordeño	Las buenas prácticas de ordeño de bebe ejecutar ordeñador para recolectar una leche de calidad (Decreto 616/2006).	
	Tiempo de succión	Periodo determinado de succión que se contabiliza a partir del encendido de la bomba hasta depositar toda la leche en los tanques.	10 a 15 min
	Recolección de la leche	La leche se recoge en cantinas, bidones o en camiones cisterna para ser transportada a la planta	10°C a 35 °C
	pH	Concentración de hidrogeniones que se determina por el pH-metro.	5.8 a 6.6
	Temperatura	El calor con el que llega la leche y se mide con el termómetro.	10°C a 15°C
	Densidad 15/15°C	Está relacionada con el peso de la leche en grasa, agua y	1.028 y 1.034 g/cm ³
índice Lactométrico	Sólidos no grasos Propiedad que permite determinar el aguado de la leche.	8.4°Brix	

Acidez expresada como ácido láctico	mL de leche de NaOH 0,1 N requeridos para neutralizar 100 mL de leche.	0.13 -0.17 %m/v
Alcohol	Reacción de estabilidad proteica	Negativa
Potencia	Potencia en la cual trabaja la bomba y que sea adecuada para la succión de la leche sin afectar sus propiedades organolépticas.	Watts (W)

Nota: Las variables son determinantes a la hora de aplicar y ejecutar el control de calidad en la recepción de la leche; así mismo se presenta la variable interviniente como ejemplo: la potencia de la bomba para succionar la leche desde el carro tanque hacia los tanques de almacenamiento y refrigeración. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 22 se identifican las entrada y salidas de la etapa de la leche cruda. Este desarrollo reviste importancia toda vez que mediante éste se verifica la capacidad de cada equipo y se determinan los costos. La entrada inicia con la cantidad total de leche cruda en litros. La salida comprueba la cantidad total de cada materia prima restando la merma que expresa la pérdida en el transporte de la leche por la tubería hacia los tanques de almacenamiento y refrigeración. Se tiene que la densidad de la leche fresca se encuentra en el rango de 1.030g/ml a 1.033g/ml, con base a datos arrojados por el equipo lactoscan, el promedio de densidad de la leche aplicado para el balance de materia es de 1.03kg/L.

Tabla 22.

Balance de materia para la recepción de la leche cruda

Parámetro	Recepción leche entera				
	Símbolo	Unidad	Fuente	%	Valor
Entrada					
Leche entera	L	litros	Dato	30	5426
Total, Entrada					5426
Salida					
Leche entera recibida	L	litros	Calculado	30	5426
Perdida en el sistema	P	litros	Calculado	0,2	10,85
Leche entera menos merma	L	litros	Calculado	30	5415,15
Total, salida		litros			5415,15

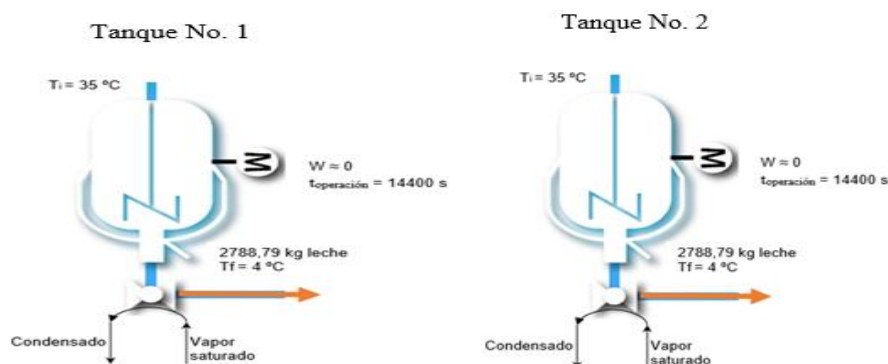
Nota: El total de entrada de leche entera es diferente a la salida, debido a las mermas por el sistema. Fuente: Elaboración propia.

El sistema de almacenamiento y refrigerado se realiza en dos tanques para dividir el total de la leche 5415,15 litros en partes iguales; De este modo el tanque No.1 y tanque No. 2

almacenan 2707,57 litros de leche cada uno. Donde se comparte el mismo balance de energía con un flujo energético aproximadamente igual a cero; partiendo que es un sistema cerrado, los cálculos para determinar la carga térmica hacia el sistema se observan en la (Figura 17).

Figura 17.

Sistema de almacenamiento y refrigerado propuesto para cada uno de los tanques de almacenamiento de leche cruda



Nota: En la Figura se observa la recepción de la leche cruda al tanque de almacenamiento y refrigeración, al ser una leche de primer ordeño posee una temperatura entre 15°C a 32°C, por ende, el tanque de almacenamiento eleva la temperatura de la leche hasta los 35°C con el fin de inactivar microorganismos y por un tiempo de cuatro horas bajar su temperatura hasta los 4°C para ser refrigerada. Fuente: Elaboración propia

Se calcula la carga térmica del sistema partiendo de las ecuaciones [11], [12], [13] y [14]:

$$\Delta E = Q - W \quad [11]$$

$$Q = \Delta U + W \quad [12]$$

$$Q = \Delta U \quad [13]$$

$$Q = m * C_p * \Delta T \quad [14]$$

Con la ecuación [15] se calcula la masa de la leche, teniendo presente que la base de cálculo es de cálculo 2707,57 litros, en este cálculo se tomó la densidad de la leche de 1,033 g/mL. En el apéndice 8 se presenta la explicación de cada uno de los términos de las ecuaciones.

$$m = \rho * v \quad [15]$$

$$m_{leche} = 1.03Kg/L * 2707,5L$$

$$m_{leche} = 2788,79Kg$$

Para aplicar la ecuación [14] se requiere los siguientes datos:

m_{leche} $= 2788,79Kg$	$C_p = 3.845J/Kg.°C$ Tomado de Ilera, 2005. p 107	$\Delta T = (35 - 4)°C$
------------------------------	--	-------------------------

$$Q = 2788,79Kg/hora * 1hora/3600s * 3.845J/Kg.°C * (35 - 4)°C$$

$$Q = 92.33J/s$$

Si cada uno de los tanques opera las cuatro horas al día el consumo de energía será de:

$$Q = 92.33J/s * 4horas/14400s$$

Entonces la transmisión de calor generada para cada tanque será:

$$Q = 0.025 \text{ watts}$$

Al utilizar la leche de 4 ° C para refrigerar la leche caliente, habrá un equilibrio entre la cantidad de calor cedida por la leche caliente y la cantidad de calor absorbida por la leche fría, permitiéndonos conocer la temperatura de la leche fría después del precalentamiento, así:

$$92.33 = 2788,79/3600 * 3.845 (T - 4)°C$$

$$92.33 = 2788,79/3600 * 3.845 T - 4 * 3.845$$

$$92.33 = 0,7746 * 3.845 T - 15.38$$

$$T = 46.38°C$$

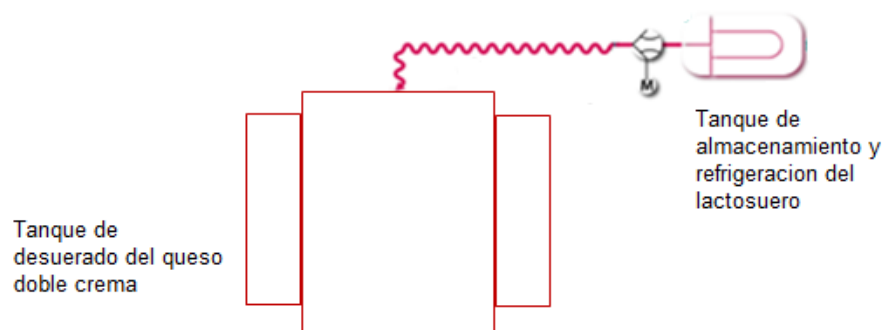
Ahora se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 14.374 pesos que al multiplicar su consumo por los dos tanques representa un costo de 28.749 pesos/día.

Etapa	Recepción de materia prima
	almacenamiento y refrigeración del lactosuero ácido
Operaciones unitarias	Filtrado y enfriamiento. Pasteurizado y choque térmico.

Descripción: Una vez se llega a la etapa del desuerado en la elaboración de queso doble crema el lactosuero es succionado por medio de una bomba extractora con filtro para evitar que pasen partículas de cuajada hacia el tanque de almacenamiento y refrigeración con capacidad de 2500 litros (Figura 18); aquí es importante realizar las pruebas de calidad que se deben tener en cuenta ver (Tabla 23) para verificar que cumpla con todas las características fisicoquímicas y requisitos microbiológicos solicitados en la Resolución 1031/2010. Los 2324 litros de suero ácido (Tabla 13), debe almacenarse a una temperatura entre 4°C a 6°C. En el trabajo expuesto por Castells et. al., (2017, p.48) recomiendan realizar una pre-estandarización de lactosuero que consiste en filtrar para eliminar los finos de caseína remanentes de la elaboración del queso.

Figura 18.

Sistema de almacenado y refrigerado para el tanque de lactosuero



Nota: La figura representa el succionado del lactosuero con el equipo motobomba desde el tanque de desuerado del queso doble crema hacia el tanque de almacenamiento y refrigeración del lactosuero. Fuente: elaboración propia.

Los 2.324 litros de lactosuero ácido son depositados en el tanque, durante el tiempo de almacenamiento refrigerado de deben realizar las pruebas de plataforma mencionadas en la Tabla 23. Una vez se tiene el volumen total de suero a procesar, este debe ser pasteurizado a una temperatura entre 72°C x 15 segundos, o bien, 63°C, x 30 minutos, luego debe ser enfriado a

45°C para su posterior procesamiento; en todo el proceso se debe ejecutar y mantener las buenas condiciones higiénico–sanitarias.

Tabla 23.

Variables a controlar en el almacenamiento refrigeración y pasteurización del lactosuero

Etapa del proceso	Variable	Definición conceptual	Unidad de medida
Almacenamiento del lactosuero	Cantidad de lactosuero	La cantidad total de lactosuero generado en el desuerado del queso.	2.324 (L)
	Tiempo de succión	Periodo determinado de succión que se contabiliza a partir del encendido de la bomba hasta depositar todo el lactosuero en el tanque de almacenamiento	5 a 10 min
	Temperatura de llegada del suero	Calor del líquido al ser succionado por la bomba y se mide con el termómetro.	30°C a 35°C
	Temperatura de almacenamiento del lactosuero	Calor del líquido al ser refrigerado por el tanque de almacenamiento.	4°C
	Acidez titulable como % ácido láctico.	Determina la cantidad de ácido láctico formado a partir de una mala refrigeración entre otras causas.	0.40 a 4.0 % m/m
	pH	Concentración de hidrogeniones que se determina por el medidor de pH	5.0 a 5.5
	Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesita el tanque para bajar la temperatura del lactosuero.	Watts (W) (J/s)
Pasteurización del lactosuero	Temperatura de pasteurización	Aumento de la temperatura en grados centígrados por unidad de tiempo hasta llegar a la temperatura de pasteurización lenta.	63°C/ 30min
	Requerimientos microbiológicos	De acuerdo con las resoluciones 2310/86 y 1031/2010	
	Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesita el tanque para bajar la temperatura del lactosuero.	Watts (W) (J/s)

Nota: En la tabla se presenta el tipo de proceso y las variables que se deben controlar en la etapa de almacenamiento, refrigeración y pasteurización del lactosuero ácido. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 24 se presenta el balance de materia para la etapa de caracterización del lactosuero ácido con una entrada de 2324 litros, por lo tanto, en esta etapa se muestra una merma

en el transporte del fluido a través de la bomba extractora hacia el tanque de almacenamiento y refrigeración.

Tabla 24.

Balance de materia en la caracterización del lactosuero ácido

Parámetro	Recepción de lactosuero				
	Símbolo	Unidad	Fuente	%	Valor
Entrada					
Lactosuero	Ls	Litros	Dato	30	2324
Total Entrada					2324
Salida					
Lactosuero recibido	Ls	Litros	Calculado	30	2324
Perdida en el sistema	P	Litros	Calculado	0,2	4,648
Lactosuero menos merma	L	litros	Calculado	30	2319,35
Total salida		litros			2319.35

Nota: El total de entrada del lactosuero difiere al total de salida debido a las mermas por el transporte del fluido que es succionado por una bomba extractora. Fuente: elaboración propia.

Los cálculos para determinar la masa del lactosuero se hacen a partir de la densidad hallada de forma experimental (fase II), la cual fue de densidad de 1.027Kg/m^3 que es lo mismo en g/mL . Se aplica la base de cálculo que se presenta en la ecuación [15] para obtener la masa del lactosuero donde se toma base de cálculo 2319,35 litros de lactosuero.

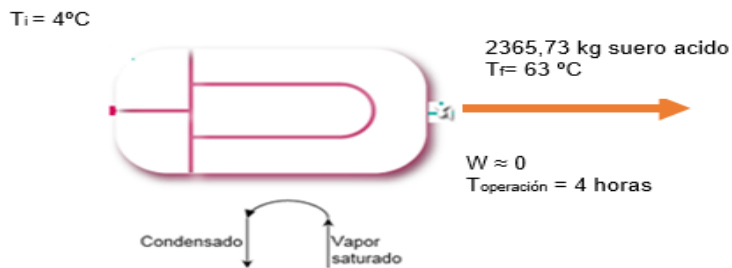
$$m_{\text{lactosuero}} = 1.02\text{Kg/L} * 2319,35\text{L}$$

$$m_{\text{lctosuero}} = 2365,73\text{Kg}$$

Los cálculos para determinar la carga térmica hacia el sistema para el almacenamiento y refrigerado del suero se observan en la (Figura 19).

Figura 19.

Sistema de almacenamiento y refrigerado para el tanque de lactosuero ácido



Nota: El almacenamiento y refrigerado del lactosuero se realiza en un tiempo de 4 horas debido al tiempo de espera entre los baches de elaboración del queso doble crema. Fuente: elaboración propia.

Para calcular la carga térmica del sistema del tanque de almacenamiento y refrigerado de lactosuero ácido, se aplica la ecuación [14]. Para aplicar la ecuación [14] se requiere los siguientes datos:

$m_{\text{lactosuero}} = 2365,73\text{kg}$	$Cp_{\text{lactosuero}} = 4005\text{J/kg} \cdot \text{°C}$ Tomado de Patiño, 2020.	$\Delta T = (32 - 4)\text{°C}$
--	---	--------------------------------

$$Q = 2365,73\text{Kg}/3600 * 4.005 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{°C}} * (32 - 4)\text{°C}$$

$$Q = 73.69\text{J}$$

Si el tanque de almacenamiento y refrigerado de lactosuero opera por 4 horas al día el consumo de energía será de:

$$Q = 73.69\text{J}/3600 * 4\text{horas}/14.400\text{s}$$

$$Q = 20.469\text{J/s}; \text{ siendo la transmisión de calor generada por el tanque.}$$

Entonces la transmisión de calor generada para cada tanque de lactosuero será:

$$Q = 5.68\text{J/s} = 5.68\text{watts}$$

Ahora se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 3265.94 pesos.

Para el cálculo de agua de enfriamiento, el balance de energía para el tanque de almacenamiento y refrigeración del suero, se aplica la ecuación [16], utilizando agua a temperatura ambiental de 12 °C a 14°C.

$$Q_e = m_e \cdot C_{p_{agua}} \Delta T \quad [16]$$

Donde;

Q_e = transmisión de calor de energía en cada tanque por el tiempo de 15 minutos en J/s

$C_{p_{agua}}$ = calor específico del agua a calentar, 4186J/kg ° C (Patiño, 2022. Pág. 78).

ΔT = diferencia de temperatura en el producto en grados centígrados

$$Q_e = 73.69 \frac{J}{s} \cdot \frac{4.186J}{kg} \text{°C} \cdot (14 - 4) \text{°C}$$

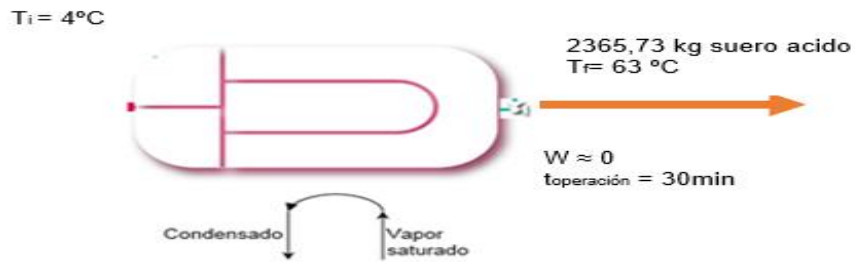
$$m_e = \frac{Q_e}{C_{p_{agua}} \Delta T} = \frac{73.69 J/s}{4.186 \frac{J}{kg \cdot \text{°C}} (14 - 4) \text{°C}} = 176.03 \frac{kg}{s}$$

Teniendo en cuenta todo lo anterior el flujo masico del agua necesario para el tanque de almacenamiento y refrigeración del lactosuero es de 176.03Kg/s para refrigerar el lactosuero a 4°C.

El sistema de carga térmica para el tanque de pasteurizado del lactosuero ácido, este inicia con una capacidad de 2365,73 kg de lactosuero ácido. El procesamiento de datos para determinar la carga térmica hacia el sistema se presenta en la Figura 20. Los cálculos se determinan aplicando la ecuación [14].

Figura 20.

Tanque de almacenamiento, refrigeración y pasteurizado del lactosuero acido



Nota: La pasteurización del lactosuero acido a una temperatura de 63°C por 30 min, se realiza cuando el total del lactosuero se encuentra a la temperatura de refrigeración. Fuente: Elaboración propia.

Para aplicar la ecuación [14] se requiere los siguientes datos:

$m_{\text{lactosuero}} = 2365,73 \text{ kg}$	$C_{p_{\text{lactosuero}}} = 4.005 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$	$\Delta T = (63 - 4)^\circ\text{C}$
--	---	-------------------------------------

$$Q = 2365,73 \text{ Kg} / 3600 * 4.005 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (63 - 4)^\circ\text{C}$$

$$Q = 155.28 \text{ J}$$

Si el tanque de almacenamiento y refrigerado de lactosuero en la pasteurización opera por 30 minutos al día el consumo de energía será de:

$$Q = 155.28 \text{ J} * 30 \text{ min} / 1800 \text{ s}$$

$$Q = 2.588 \text{ J/s}; \text{ siendo la transmisión de calor generada por el tanque.}$$

Entonces la transmisión de calor generada para cada tanque de lactosuero será:

$$Q = 2.588 \text{ J/s} = 2.588 \text{ watts}$$

Ahora se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 1488.074 pesos.

Para el enfriamiento del lactosuero a 45°C se debe retirar la siguiente cantidad de calor

$$Q = 2788,79 / 3600 * 3.845 (4 - 35)^\circ\text{C} = -92.33 \text{ watts}$$

Al utilizar el agua a temperatura ambiente entre 12°C para bajar el lactosuero a 45°C, habrá un equilibrio entre la cantidad de calor cedida por el lactosuero caliente y la cantidad de calor absorbida por el agua fría, permitiéndonos conocer la temperatura del lactosuero después de la pasteurización, así:

$$Q = \frac{2365.73}{3600} * 4.005 (45 - 63)^{\circ}\text{C} = -47.37 \text{ watts}$$

$$47.37 = 2365.73/3600 * 4.005 T - 45 * 4.005$$

$$92.33 = 0,7746 * 3.845 T - 15.38$$

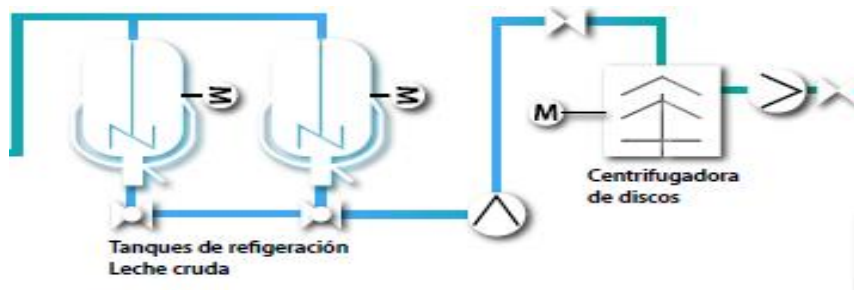
$$T = 44.99^{\circ}\text{C}$$

Etapa	Descremado de la leche
Operaciones unitarias	Centrifugado.

Descripción: Los 5426 litros de leche fresca es enviada por tubería a la centrifugadora de 86 discos (Figura 21), cuya capacidad es de 2500 L/h, donde el total de esta leche es descremada saliendo a una temperatura entre los 32 a 35°C. De este proceso se obtiene una merma del 3.4 % que es convertida en crema de leche. Directamente es enviada al tanque fermentador proceso que se realiza por carga, las variables del proceso se presentan en la Tabla 25.

Figura 21.

Descremado de la leche entera en el proceso de elaboración de la bebida láctea.



Nota: Después del almacenamiento de la leche, esta pasa a la etapa de descremado donde se realiza en centrifugadora de discos.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25.*Variables a controlar en el descremado de la leche*

Etapa del proceso	Variable	Definición conceptual	Unidad de medida
	Cantidad de leche	La cantidad total de leche a descremar.	5415,15 (L)
Descremado	Tiempo de succión de la leche hacia la descremadora	Periodo determinado de succión que se contabiliza a partir del encendido de la bomba hasta depositar toda la leche.	1 a 2 horas
	Temperatura de descremado	Aumento de la temperatura de la leche al ser removida parcialmente la grasa de la leche entera y se mide con el termómetro.	32°C a 35°C
	Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesita el tanque para bajar la temperatura del lactosuero.	Watts (W) (J/s)

Nota: La tabla presenta el tipo de proceso, el tipo de variable y las variables que se deben controlar en la etapa de descremado de la leche entera en la elaboración de la bebida láctea a base de suero ácido. Fuente: elaboración propia.

En la tabla 26, se presenta el balance de materia para la etapa de descremado de la leche entera, en esta etapa se considera la merma generada por el descremado parcial de la grasa de la leche.

Tabla 26.*Balance de materia para el descremado de la leche entera*

Descremado de la leche entera					
Parámetro	Símbolo	Unidad	Fuente	%	Valor (L)
Entrada					
Leche entera	L	L	Dato	30	5415,15
Total Entrada					5415,15
Salida					
Leche entera recibida	L	L	Calculado	30	5415,15
Perdida en el sistema	P	L	Calculado	0,2	10,85
Leche entera menos merma	L	L	Calculado	3.4	184,11
Total salida					5220,19

Nota: El total de salida de la leche descremada ha tenido una merma por pérdida en tubería y separación en grasa. Fuente: elaboración propia.

El sistema de descremado total de la leche con 5220,19 litros, el aplica un balance de energía con un flujo energético aproximadamente igual a cero; los cálculos para determinar la carga térmica hacia el sistema se observan en la Figura 22.

Figura 22.

Descremado de la leche entera



Nota: El descremado de la leche entera tarda un tiempo de 120 min y por donde sufre un cambio de temperatura desde los 4°C hacia los 32°C . Fuente: Elaboración propia.

Empleando la ecuación [15], se obtiene la cantidad de leche expresada en Kg, cuya base de cálculo es 5220,19 litros y un valor de densidad de $\rho_{\text{Promedio}} = 1.033 \text{ g/ml}$.

$$m_{\text{leche}} = 1.03 \text{ Kg/L} * 5220,19 \text{ L}$$

$$m_{\text{leche}} = 5376,79 \text{ Kg}$$

Aplicando la ecuación [14], se obtiene de carga térmica para la centrifugadora de discos requerida para descremar 5376,79 Kg de leche. Para aplicar la ecuación [14] se requiere los siguientes datos:

$m_{\text{leche}} = 5376,79 \text{ Kg}$	$C_{p_{\text{leche entera}}} = 3.845 \text{ J/Kg.}^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = (32 - 4)^{\circ}\text{C}$
---	---	---------------------------------------

$$Q = 5376,79 \text{ Kg} / 3600 * 3.845 \frac{\text{J}}{\text{Kg.}^{\circ}\text{C}} * (32 - 4)^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 1160.79 \text{ J}$$

Si la centrifugadora opera por 2 horas al día el consumo de energía será de:

$$Q = 160.79J * 2horas/7200s$$

$$Q = 0.044J/s$$

$Q = 0.044J/s = 0.044$ watts; siendo la transmisión de calor generada. Ahora se tiene el costo de energía Kw/h que equivale a \$574,99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 25,299 pesos.

Etapa	de adición de azúcar y estabilizante
Operaciones unitarias	Agitación y Homogenización

Descripción: En la tabla 27, se presenta las etapas que intervienen para el control de la etapa. Se realiza la primera adición de sacarosa en un 20 % sobre el volumen total de la bebida y se adiciona el estabilizante, luego los volúmenes de leche descremada, lactosuero, azúcar y estabilizante se bombean en partes iguales 50% hacia el tanque de mezcla No.1 y 50% tanque No.2 cada uno con capacidad de 8000L. La adición de sacarosa y estabilizante contribuye a mejorar la consistencia del producto y a controlar la formación de sabores amargos residuales (Costa et. al. 2019, p.2). También la homogeneización de la mezcla total entre leche descremada, lactosuero, azúcar y estabilizante contribuye a reducir el tamaño de los glóbulos de grasa ($<1\mu$) lo que confiere una mejor incorporación de la grasa en la red de proteínas, fortaleciendo así la interacción de la grasa con la caseína y la proteína de lactosuero desnaturalizada durante la acidificación, posteriormente mejoraron las características del gel (Gilbert et. al. 2020, p.3).

Tabla 27.*Variables a controlar en la adición de azúcar y estabilizante*

Etapa del proceso	Variable	Definición conceptual	Unidad de medida
Adición de azúcar 50% y estabilizante	Cantidad total de mezcla	La cantidad total de mezcla (leche descremada, lactosuero, azúcar y estabilizante)	9292.57 (kg).
	Tiempo de agitación para la homogeneización	Periodo determinado de agitado que se contabiliza a partir del encendido del equipo, hasta homogenizar toda la mezcla de ingredientes.	15min
	Tiempo de succión	Periodo determinado de succión que se contabiliza a partir del encendido de la bomba para succionar la leche descremada, el lactosuero y la adición de insumos en los dos tanques de mezcla y pasteurización.	15 min
	Temperatura de calentamiento	Aumento de la temperatura de la mezcla (leche descremada lactosuero) y se mide con el termómetro.	45°C
	Temperatura leche descremada	Temperatura del fluido con la que sale de la centrifugadora se mide con un termómetro	32°C
	Temperatura lactosuero	Temperatura del fluido después de ser pasteurizado y al donde recibe un choque térmico y es tomado con el termómetro	45°C
	Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesitan los tanques para agitar y homogenizar la mezcla.	Watts (W) (J/s)

Nota: Se presenta el control de variables en la agitación y homogeneización en la adición de azúcar y estabilizante. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 28, se presenta el balance de materia por lo tanto en esta etapa se muestra una merma expresada en la removida parcialmente de grasa de la leche.

Tabla 28.*Balance de materia para la adición de azúcar y estabilizante*

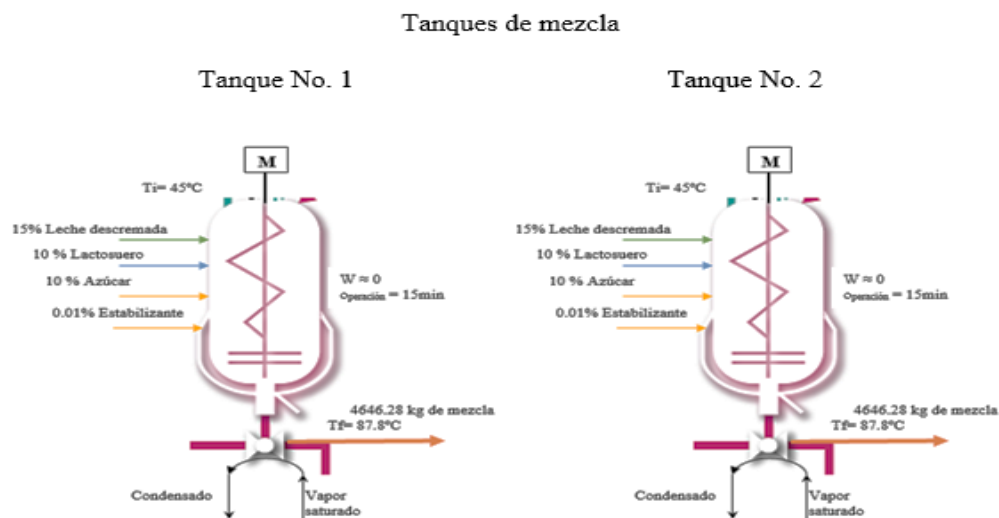
Parámetro	Adición de azúcar 20% y estabilizante				
	Símbolo	Unidad	Fuente	%	Valor (kg)
Entrada					
Leche descremada	Ld	kg	Calculado	30	5376.79
Lactosuero	Ls	kg	Calculado	20	2365.73
Azúcar	A	kg	Calculado	20	1548.50
Estabilizante	E	kg	Calculado	0,02	1.55
Total Entrada					9292.57
Salida					
Bebida	B	kg	Dato	100	9292.57
Total salida					9292.57

Nota: La mezcla entre leche descremada, lactosuero y la adición de azúcar y estabilizante. Fuente: Elaboración propia.

Con la adición de azúcar al 20% y estabilizante a la mezcla (leche descremada y lactosuero) se obtiene una cantidad de mezcla de 9292.57 kg, es importante indicar que en cada tanque ingresan 4646.28 kg de bebida, reduciendo un balance de energía con un flujo energético aproximadamente igual a cero. Este balance de energía comparte igualdad en cálculos ver (Figura 23).

Figura 23.

Balance de energía en la adición de azúcar 20% y estabilizante a la mezcla (leche descremada y lactosuero)



Nota: Los tanques No.1 y No. 2, comparten igualdad de cantidades, por ende, la adición de azúcar y estabilizante se debe agregar al mismo tiempo, teniendo en cuenta que ambas mezclas asuman una correcta homogenización con la agitación. Fuente: Elaboración propia.

Se debe calcular la diferencia de temperaturas media logarítmica entre el lactosuero pasteurizado y la leche descremada dentro del mismo tanque de mezcla-pasteurización y se procede aplicar la ecuación [17].

$$MLDT = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{Ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad [17]$$

Datos:

$$\Delta T_1 = 45^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 32^\circ\text{C}$$

$$MLDT = \frac{45^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{45^\circ\text{C}}{32^\circ\text{C}}\right)}$$

$$MLDT = 87.8^\circ\text{C}$$

La temperatura de la bebida láctea alcanzará entonces una temperatura de 87.8°C mediante el aprovechamiento del calor que tiene la leche descremada y el Lactosuero pasteurizado. Aplicando la ecuación [18], se calcula el sistema de carga térmica para los tanques No.1 y No.2, los cuales contienen 4646,28 kg de mezcla cada uno.

$$Q = m_{\text{lactosuero}} * C_{p_{\text{lactosuero}}} * \Delta T + m_{\text{leche descremada}} * C_{p_{\text{leche descremada}}} * \Delta T \quad [18]$$

$m_{\text{leche descremada}} = 2688,39 \text{ Kg}$	$C_{p_{\text{leche descremada}}} = 3935,59 \text{ J/Kg.}^\circ\text{C}$	$\Delta T = (87.8 - 90)^\circ\text{C}$
$m_{\text{lactosuero}} = 1182,86 \text{ kg}$	$C_{p_{\text{lactosuero}}} = 4.005 \text{ J/Kg.}^\circ\text{C}$	

$$Q = 1182,86 \frac{\text{kg}}{3600} * 4.005 \text{ J/Kg.}^\circ\text{C} * (90 - 87.8)^\circ\text{C} + \frac{2688,39}{3600} \text{ Kg} * 3935,59 \text{ J/Kg.}^\circ\text{C} * (90 - 87.8)^\circ\text{C}$$

$$Q = 9360.85 \text{ J}$$

Si los tanques de mezcla operan por 15 minutos en la adición de azúcar y estabilizante con agitación continua al día el consumo de energía será de:

$$Q = 9360.85 / 3600 * 15 \text{ min} / 900 \text{ s}$$

$$Q = 0.029 \text{ /s}, \text{ siendo la transmisión de calor generada por cada uno de los tanques.}$$

Entonces la transmisión de calor generada será:

$$Q = 0.043 \text{ J/s} = 0.043 \text{ watts}$$

Ahora se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 24.724 pesos que al multiplicarlo por 2 es igual a 49.449 pesos de energía consumida por los dos tanques.

Etapa	pasteurización y choque térmico
Operaciones unitarias	Pasteurización, enfriamiento

Descripción: La pasteurización de la bebida láctea fermentada se realiza en tres etapas: calentamiento, sostenimiento y enfriamiento, en la Tabla 29 se presentan las variables de control. Las operaciones tienen lugar dentro del mismo tanque de mezcla y de forma automática. A continuación, se describen los pasos para ejecutar esta etapa.

Una vez homogenizada la mezcla (leche descremada, lactosuero, azúcar y estabilizante en los tanques No.1 y tanque No. 2, se inicia la pasteurización a una temperatura de 90°C x 5 minutos que se ejecuta con el paso de agua caliente, mediante resistencias eléctricas por la chaqueta del tanque.

Finalizado el tiempo de pasteurización, se mantiene un sostenimiento del equipo por 15 min, donde inicia un choque térmico.

El choque térmico consiste en bajar la temperatura del fluido a los 45°C, mediante el paso de agua fría procedente de la red o banco de hielo por la chaqueta de los tanques de mezcla y pasteurización. Su objetivo principal es reducir las bacterias psicotróficas que se puedan encontrar en la mezcla (leche descremada, lactosuero, azúcar y estabilizante).

Tabla 29.

Variables en el proceso de pasteurización y choque térmico.

Etapa del proceso	Variable	Definición conceptual	Unidad de medida
Pasteurización de la mezcla entre: (leche descremada, lactosuero azúcar y estabilizante).	Cantidad total de la mezcla (leche descremada, lactosuero, azúcar y estabilizante)	La cantidad total de la mezcla de las materias primas e insumos.	9292.57 kg
	Temperatura inicial de la mezcla (leche descremada, lactosuero, azúcar y estabilizante)	Temperatura con la que inicia la mezcla después de homogenizar.	87.8°C
	Temperatura de pasteurización	Aumento de la temperatura de los	90°C

		tanques que se da en grados centígrados y se mide con el termómetro	
Tiempo de calentamiento del fluido	Periodo determinado de calentamiento que se contabiliza a partir del momento que se le da energía al tanque.		5 min
Requerimientos microbiológicos	Según norma técnica colombiana 805/2005		UFC/g
Tiempo de sostenimiento	Periodo determinado para bajar la temperatura del fluido en los tanques de mezcla y pasteurización.		15 min
Tasa de descenso de temperatura	Descenso de la temperatura en grados centígrados hasta llegar a la temperatura de inoculación.		45°C
Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesitan los tanques para ejecutar el choque térmico		Watts (W) Julio/segundo J/s

Nota: Se presentan las variables a controlar en la etapa de pasteurización y choque térmico de la bebida láctea. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 30, se presenta el balance de materia, donde no se presentan mermas en la mezcla de la bebida láctea.

Tabla 30.

Balance de materia para la etapa de pasteurización y choque térmico

Pasteurización y choque térmico					
Parámetro	Símbolo	Unidad	Fuente	%	Valor (kg)
Entrada					
Mezcla de bebida	Mb	kg	Calculado	100	9292.57
Total Entrada					9292.57
Salida					
Mezcla bebida	Mb	kg	Dato	100	9292.57
Total, salida					9292.57

Nota: Para la pasteurización el total de la mezcla de materia prima e insumos no tiene ninguna pérdida por merma, se trabaja con la misma cantidad en kg. Fuente: Elaboración propia.

Con la mezcla total (4646,28 kg) en cada uno de los tanques, se reduce el balance de energía con un flujo energético aproximadamente igual a cero como se presenta en la (Figura 24).

Aplicando la ecuación [18], se calcula el sistema de carga térmica para los tanques No.1 y No.2 , los cuales contienen 4646,28 kg de mezcla cada uno.

$$Q = m_{lactosuero} * Cp_{lactosuero} * \Delta T + m_{leche descremada} * Cp_{leche descremada} * \Delta T \quad [18]$$

Los datos que se requieren para la ecuacion [18] son:

$m_{leche descremada} = 2688,39 \text{ Kg}$	$Cp_{leche descremada} = 3935,59 \text{ J/Kg.}^\circ\text{C}$	$\Delta T = (87.8 - 90)^\circ\text{C}$
$m_{lactosuero} = 1182,86 \text{ kg}$	$Cp_{lactosuero} = 4.005 \text{ J/Kg.}^\circ\text{C}$	

$$Q = 1182,86 \frac{\text{kg}}{3600} * 4.005 \text{ J/Kg.}^\circ\text{C} * (90 - 87.8)^\circ\text{C} + \frac{2688,39}{3600} \text{ Kg} * 3935,59 \text{ J/Kg.}^\circ\text{C} * (90 - 87.8)^\circ\text{C}$$

$$Q = 9360.85 \text{ J}$$

Si los tanques de mezcla y pasteurización operan por 5 minutos al día el consumo de energía será de:

$$Q = 9360.85/3600 * 5 \text{ min}/300 \text{ s}$$

$Q = 0.043 \text{ J/s}$, siendo la transmisión de calor generada por cada uno de los tanques.

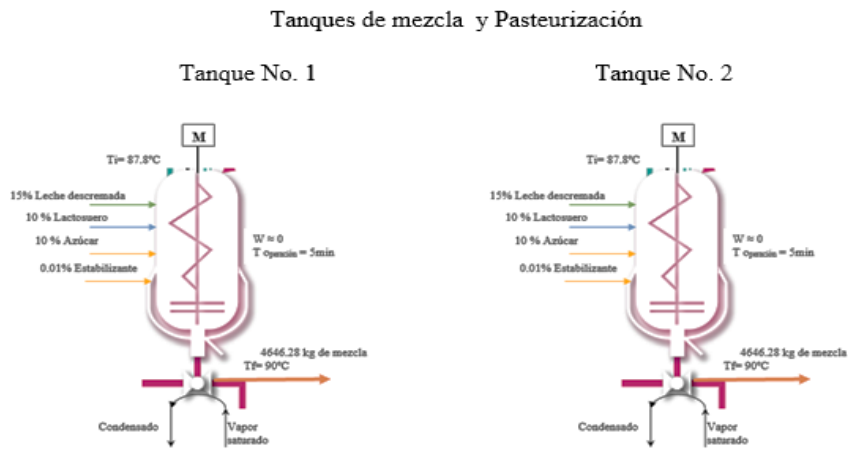
Entonces la transmisión de calor generada será:

$$Q = 0.043 \text{ J/s} = 0.043 \text{ watts}$$

Ahora se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 24,724 pesos que al multiplicarlo por 2 es igual a 49,449 pesos de energía consumida por los dos tanques.

Figura 24.

Balance de energía para los tanques de mezcla y pasteurización

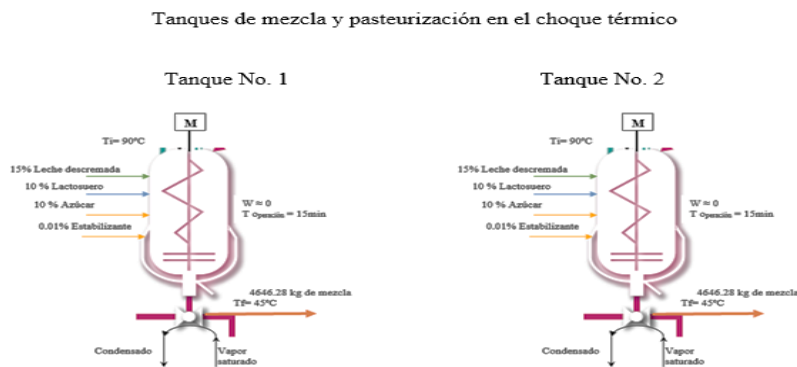


Nota: Para los tanques No.1 y tanque No.2 la cantidad total de mezcla es de 4646.28 kg, dividida en partes iguales, teniendo en cuenta que la capacidad de cada uno de los tanques es de 8000L. Fuente: elaboración propia.

En los tanques de mezcla y pasteurización se procede a sostener el equipo por un tiempo de 15 min hasta bajar la mezcla a los 45°C , se reduce el balance de energía con un flujo energético aproximadamente igual a cero como se presenta en la Figura 25.

Figura 25.

Balance de energía para los tanques de mezcla y pasterización en el choque térmico



Nota: El choque térmico se realiza con un sostenimiento de equipo en un tiempo de 15 minutos hasta bajar la temperatura de la mezcla a 45°C. Fuente: Elaboración propia.

Aplicando la ecuación [18], se calcula el sistema de carga térmica para los tanques No.1 y No.2 , los cuales contienen 4646.28 kg de mezcla pasteurizada. Los datos que se requieren para la ecuacion [18] son:

$m_{leche\ descremada}$ $= 2688.39\ Kg$	$Cp_{leche\ descremada}$ $= 3935,59J/Kg.^{\circ}C$	$\Delta T = (90 - 45)^{\circ}C$
$m_{lactosuero} = 1182.86\ kg$	$Cp_{lactosuero} = 4.005J/Kg.^{\circ}C$	

$$Q = 1182.86 \frac{kg}{3600} * 4.005J/Kg.^{\circ}C * (90 - 45)^{\circ}C + \frac{2688.39}{3600} Kg * 3935,59J/Kg.^{\circ}C * (90 - 45)^{\circ}C$$

$$Q = 191499,97J$$

Si los tanques de mezcla y pasteurización operan por 15 minutos al día el consumo de energía será de:

$$Q = 191499,97J/3600 * 15min/900s$$

$$Q = 0.886/s, \text{ siendo la transmisión de calor generada por cada uno de los tanques}$$

Entonces la transmisión de calor generada será:

$$Q = 0.886J/s = 0.886J \text{ watts}$$

Ahora se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 509.44 pesos que al multiplicarlo por 2 es igual a 1019.54 pesos de energía consumida por los dos tanques.

Para el cálculo del flujo de agua requerido para el enfriamiento y generar el choque térmico, el balance de energía en la chaqueta de los tanques de mezcla y pasteurización se calcula con la ecuación [16] en donde se obtiene la ecuación [19], de esta forma se obtiene el flujo masico de agua.

$$Q_e = m_e \cdot Cp_{agua} \Delta T \quad [16]$$

$$m_e = \frac{Q_e}{Cp_{agua} \Delta T} \quad [19]$$

$$Q_e = m_e \cdot C p_{\text{agua}} \Delta T$$

$$Q_e = 0.886 \text{ J/s} \cdot \frac{4.186 \text{ J}}{\text{kg}} \cdot (90 - 45)^\circ\text{C}$$

$$m_e = \frac{Q_e}{C p_{\text{agua}} \Delta T}$$

$$m_e = \frac{\frac{0.886 \text{ J}}{\text{s}}}{4.186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (90 - 45)^\circ\text{C}}$$

$$m_e = 9.52 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

El flujo masico de agua necesario para bajar la temperatura desde 90°C a 45°C de la bebida láctea en cada uno de los tanques de mezcla y pasteurización térmico es de 9.52 kg/s.

Sí se realiza el balance de energía en la zona de enfriamiento se puede obtener la temperatura de salida del servicio de agua caliente y agua fría con la aplicación de las ecuaciones [20], [21] y [22].

$$m_{\text{Bebida}} * C p_{\text{Bebida}} * \Delta T_{\text{Bebida}} = -m_w * C p_w * \Delta T_w \quad [20]$$

$$\Delta T_w = -\frac{C p_B * \Delta T_B}{m_B * C p_w} \quad [21]$$

$$T_{fw} = T_{iw} - \frac{m_B * C p_B * \Delta T_B}{2 m_B * C p_w} \quad [22]$$

Al aplicar la ecuación [22], se evalúa el calor específico a temperatura media de la Bebida láctea fermentada, para el agua se ha evaluado entre 15 y 20 °C debido a que el valor de Cp. no varía significativamente en el intervalo de 0-100 °C, además la variación de temperatura es únicamente de 6°C con lo que se obtiene:

$$T_{fw} = 12 - \frac{4646.28 \text{ kg} * (3935.59 + 4.005) \text{ J/kg}^\circ\text{C} * (90 - 45)^\circ\text{C}}{9292.57 \text{ kg} * 4186.8 \text{ J/kg}^\circ\text{C}}$$

$$T_{fw} = 37.1^\circ\text{C}$$

La temperatura final del agua que sale del tanque de mezcla y pasteurización en el tiempo de choque térmico es de 37.1°C.

Etapa	Inoculación – mezcla de fermentos
Operaciones unitarias	Agitación.

Descripción: La mezcla (leche descremada, lactosuero, azúcar y estabilizante), a una temperatura de 42° C a 45° C, se inocula con el cultivo Yomix de fermentos (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium lactis*), al 2.5% el cual se prepara diluyendo 1Litro de agua 1,55 kg de cultivo. Esta preparación es dividida en partes iguales y son adicionadas a los tanques de mezcla, pasteurización e inoculación; se debe realizar una agitación constante por 10 minutos. Las variables por controlar en esta etapa se presentan en la Tabla 31.

Tabla 31.

Variables a controlar en la etapa de inoculación

Etapa del proceso	Variable	Definición conceptual	Unidad de medida
Inoculación	Cantidad total de la mezcla.	La cantidad total de la mezcla de las materias primas e insumos.	9294kg
	Cantidad del cultivo	La cantidad total de cultivo láctico pesado.	1.55 kg 2.5%
	Temperatura de inoculación	Los grados centígrados de la mezcla para la inoculación	42 ° C a 45 ° C
	Tiempo de agitación	Periodo determinado para agitar la mezcla y permitir que el cultivo se incorpore a la mezcla.	10 min
	Tasa constante de temperatura	Sostenimiento de la temperatura en grados centígrados hasta cumplir el tiempo de agitación en la inoculación.	45°C
	Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesitan los tanques para inocular.	Watts (W) Julio/segundo J/s

Nota: En la atapa de inoculación se presenta un control de variables, por lo tanto se muestra un incremento de la mezcla (leche descremada, lactosuero, azúcar, estabilizante y cultivo Yomix), con agitación constante de 10 min para homogenizar la mezcla a una temperatura constante de 45°C. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 32, se presenta el balance de materia para esta etapa.

Tabla 32.

Balance de materia en la inoculación

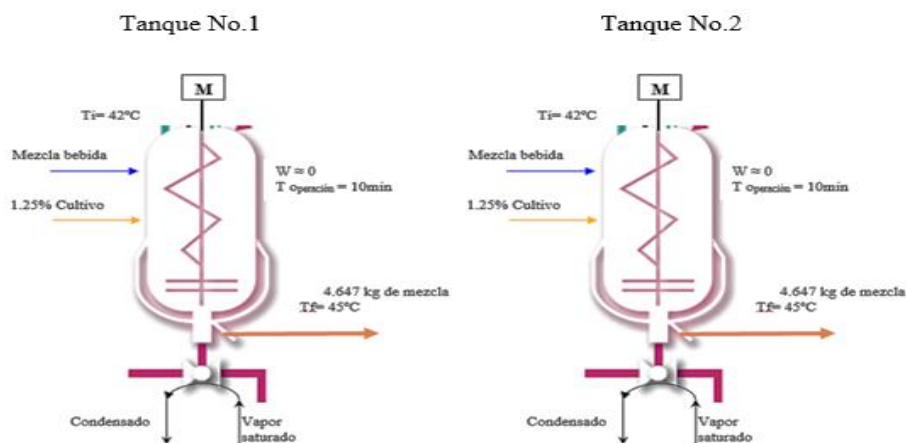
Inoculación					
Parámetro	Símbolo	Unidad	Fuente	%	Valor (kg)
Entrada					
Mezcla de bebida	Mb	Kg	Calculado	100	9292.57
Cultivo	C	Kg	calculado	2.5	1.55
Total Entrada					9.294
Salida					
Bebida	B	kg	Dato	100	9294
Total salida					9294

Nota: En la etapa de inoculación aumenta la cantidad de mezcla (leche descremada, lactosuero y la adición de azúcar, estabilizante y cultivo al 2.5%), en 9494 kg. Fuente: Elaboración propia.

Con la inoculación se aumenta en cantidad de mezcla. En cada uno de los tanques (No.1 y No.2) se tiene 4647 kg de mezcla para un total de 9294 kg. En la figura 26 se presenta la información requerida para realizar el balance de energía.

Figura 26.

Balance de energía para los tanques en la etapa de inoculación



Nota: la figura presenta el proceso de inoculación en los tanques No. 1 y No.2. Fuente: Elaboración propia.

Aplicando la ecuación [18], se calcula el sistema de carga térmica para los tanques No.1 y No.2 , los cuales contienen 4.647 kg de mezcla pasteurizada e inoculada. Los datos que se requieren para la ecuación [18] son:

$m_{leche\ descremada}$ $= 2688,39\ Kg$	$Cp_{leche\ descremada}$ $= 3935,59J/Kg.\ ^\circ C$	$\Delta T = (45 - 42)^\circ C$
$m_{lactosuero} = 1182,86kg$	$Cp_{lactosuero} = 4.005J/Kg.\ ^\circ C$	

$$Q = 1182,86 \frac{kg}{3600} * 4.005J/Kg.\ ^\circ C * (45 - 42)^\circ C + \frac{2688,39}{3600} Kg * 3935,59J/Kg.\ ^\circ C * (45 - 42)^\circ C$$

$$Q = 12764.79J$$

Si los tanques de mezcla y pasteurización operan por 10 minutos al día el consumo de energía será de:

$$Q = 12764.79J/3600 * 10min/600s$$

$Q = 0.059J/s$, siendo la transmisión de calor generada por cada uno de los tanques.

Entonces la transmisión de calor generada será:

$$Q = 0.059J/s = 1.425J\ watts .$$

Ahora se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 33.924 pesos que al multiplicarlo por 2 es igual a 67.848 pesos de energía consumida por los dos tanques.

Etapa	Fermentación
Proceso unitario	Ruta metabólica de producción de ácido láctico y Crecimiento microbiano

Descripción: La fermentación ocurre en los mismos tanques de mezcla, pasteurización e inoculación, luego de la agitación por 10 minutos, el sistema de carga térmica del equipo debe

quedar en reposo por un tiempo de 4 horas a una temperatura constante de 45°C, se asume que la cantidad de bebida láctea fermentada que se obtiene luego de la etapa de inoculación es igual a la cantidad de bebida láctea en la fermentación; no se puede conocer con certeza el peso de la biomasa producida, por lo que los cálculos de los balances de materia y energía se realizan con la cantidad de 9294 Kg de bebida láctea, pero lo que sí se puede estimar es la cantidad de unidades formadoras de colonia con las que la bebida final, la cual debe aportar un mínimo de $10 E^6$ UFC/ ml o gramo de producto para cumplir con las especificaciones técnicas (Skryplonek et. al. 2019, p.7774). Durante la fermentación se realiza el seguimiento al pH que finaliza hasta alcanzar un valor de 4.6 a 4.7 (Castells et. al. 2017, p.52), (Cordeiro et. al. 2019, p.6757), temperatura y acidez cada 15 minutos (Tabla 33). El tiempo es importante controlarlo, debido que durante la fermentación se presentan cambios químicos importantes que conducen a la formación de sabores y un aroma típico. De manera que la fermentación se detiene descendiendo rápidamente la temperatura a 15°C para evitar la formación de sabores ácidos excesivos (Deshwal et. al. 2021, p.499), específicamente por la conversión de la lactosa proveniente de la leche y el lactosuero ácido hacia ácido láctico.

Tabla 33.

Variables a controlar en la fermentación

Etapa del proceso	Variable	Definición conceptual	Unidad de medida
	Cantidad total de la mezcla	La cantidad total de la mezcla (leche descremada, lactosuero ácido, azúcar, estabilizante, y cultivo.	9294kg
Fermentación	Tiempo de reposo de la mezcla	Periodo determinado para formar el coagulo.	4 horas
	Tasa constante de temperatura	Sostenimiento de la temperatura en grados centígrados hasta formar el coagulo y presentar una reacción de hidrolisis.	45°C

Tiempo de muestreo	Periodo determinado para ejecutar una toma de muestra	15min
pH	Concentración de hidrogeniones que se determina por el Peachimetro.	4.6 a 4.7
Acidez titulable como % ácido láctico.	Determina la cantidad de ácido láctico formado a partir de la fermentación por hidrolisis.	60°Th %m/v
Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesitan los tanques para inocular.	Watts (W) Julio/segundo J/s

Nota: Las variables en la etapa de fermentacion mas relevantes a controlar son Tiempo, temperatura, pH y acidez titulable.
Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 34, se presenta el balance de materia para la fermentación de la mezcla de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido.

Tabla 34.

Balance de materia en la fermentación

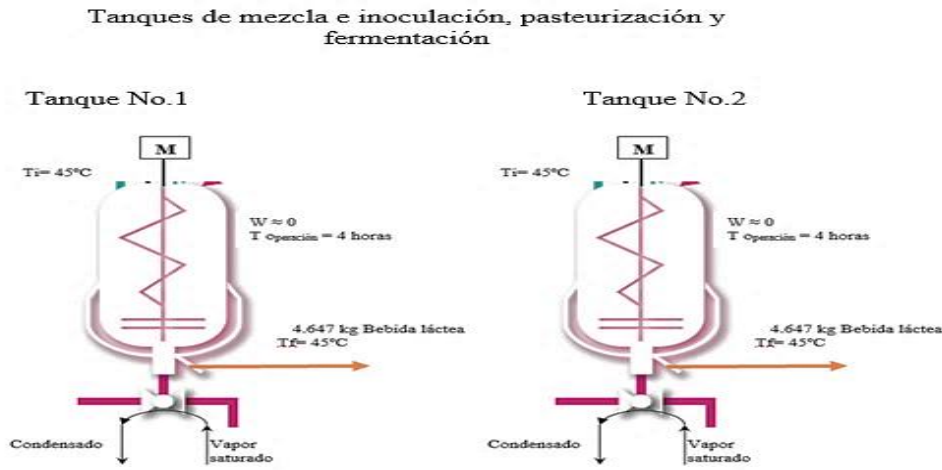
Fermentación					
Parámetro	Símbolo	Unidad	Fuente	%	Valor (kg)
Entrada					
Bebida láctea	B	kg	Calculado	100	9294
Total Entrada					9294
Salida					
Bebida	B	kg	Dato	100	9294
Total salida					9294

Nota: En la tabla se presenta el valor total de bebida láctea de 9.294 kg. Fuente: Elaboración propia.

Para la fermentación la cantidad de 9294 kg, que está dividida en partes iguales para los tanques No.1 con 4647 kg y el tanque No. 2 con 4647 kg. Reduciendo un balance de energía con un flujo energético aproximadamente igual a cero. En la Figura 27 se presenta la información requerida para realizar el balance de energía.

Figura 27.

Balance de energía para los tanques de fermentación



Nota: Dentro de la etapa de fermentación se continua con una cantidad de mezcla de 9294 kg divididos en partes iguales para cada uno de los tanques con 4647 kg de bebida láctea fermentada a base de lactosuero. La temperatura es constante de 45°C.

Aplicando la ecuación [14], se calcula el sistema de carga térmica para los tanques No.1 y No.2, los cuales contienen 4.647 kg de bebida láctea fermentada. Los datos que se requieren para la ecuación [14] son:

$m_{bebida\ lactea} = 4.674Kg$	$Cp_{bebida\ lactea} = 3749,074J/Kg.^{\circ}C$ (Ore & Ore, 2014, p165)	$\Delta T = (45)^{\circ}C$
--------------------------------	---	----------------------------

$$Q = 4.647Kg/3600 * 3749,074 \frac{J}{Kg.^{\circ}C} * (45)^{\circ}C$$

$$Q = 217774,33J$$

Si los tanques de mezcla y pasteurización en la fermentación operan por 4 horas al día el consumo de energía será de:

$$Q = 307892.01J/3600 * 4\ horas/14400s$$

$Q = 0.016J/s$, siendo la transmisión de calor generada por cada uno de los tanques.

Entonces la transmisión de calor generada será:

$$Q = 0.016J/s = 0.016J \text{ watts .}$$

Ahora se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 9.199 pesos que al multiplicarlo por 2 es igual a 18.399 pesos de energía consumida por los dos tanques.

Etapa	Enfriamiento
Operación unitaria	Enfriamiento

Descripción: (Oraç y Akin, 2019, p.49) mencionan que el objetivo principal del enfriamiento es optimizar la textura del gel en la producción de la bebida láctea fermentada, por lo tanto, la velocidad de enfriamiento influye directamente en las propiedades del gel, además el descenso de la temperatura a 15°C es restringir la actividad del cultivo iniciador y sus enzimas lo más rápido posible y mantener el pH de 4.6 a 4.7. Las variables a controlar se presentan en la Tabla 35.

Tabla 35.

Variables a controlar en el enfriamiento

Etapa del proceso	Tipo de variable	Variable	Definición conceptual	Unidad de medida
Enfriamiento	Independiente	Cantidad total de la mezcla	La cantidad total de la mezcla (leche descremada, lactosuero ácido, azúcar, estabilizante, y cultivo.	9294 kg
	Dependiente	Tiempo de descenso de la temperatura	Periodo determinado para formar el coagulo.	15 min
		Temperatura de descenso de la bebida láctea a base de lactosuero	Temperatura de descenso que se da en grados centígrados gasta detener el crecimiento bacteriano.	15°C
	Intervinientes	Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesitan los tanques para inocular.	Watts (W) Julio/segundo J/s

Nota: Las variables a controlar en la etapa de enfriamiento son tiempo y temperatura. Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de enfriamiento es de 15 minutos para cada uno de los tanques de fermentación por medio de agua helada que viene del banco de hielo y recorre el serpentín del tanque, de tal

forma que el agua que ingresa es la misma agua que sale con una diferencia de temperatura, el enfriamiento no debe ocurrir demasiado rápido ya que puede causar cambios indeseables en la estructura del gel que contribuyen a la formación de sinéresis, así mismo si el enfriamiento no se puede realizar con éxito, esta etapa conduce a efectos adversos como cuerpo débil, separación del suero y post acidificación, defectos de calidad significativos en la bebida fermentada. En la Tabla 36, se presenta el balance de materia para la etapa de fermentación. En la Figura 28 se presenta la información requerida para realizar el balance de energía.

Tabla 36.

Balance de materia para la etapa de enfriamiento de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido

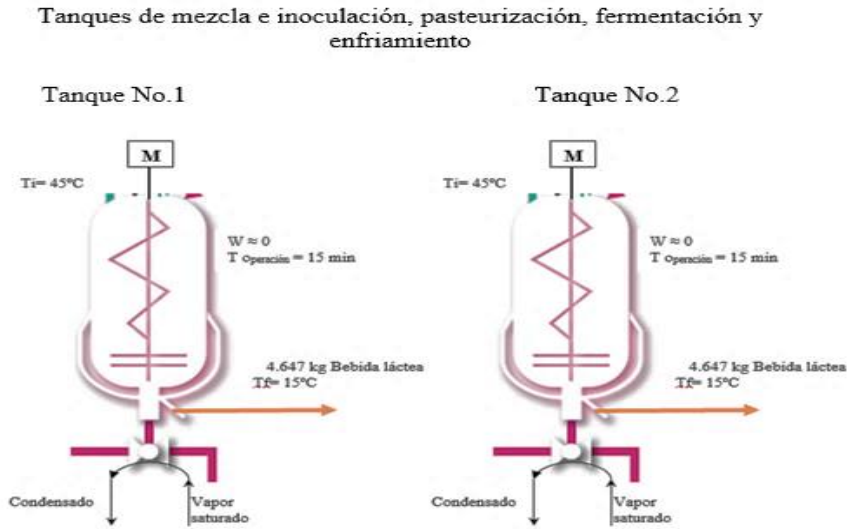
Enfriamiento					
Parámetro	Símbolo	Unidad	Fuente	%	Valor (kg)
Entrada					
Bebida láctea	B	kg	Calculado	100	9294
Total Entrada					9294
Salida					
Bebida láctea	B	kg	Dato	100	9294
Total salida					9294

Nota: En esta etapa de enfriamiento la cantidad continúa siendo de 9294 kg de bebida láctea fermentada. Fuente: Elaboración propia

Aplicando la ecuación [14], se calcula el balance de energía para los tanques No.1 y No.2, los cuales contienen 4647 Kg de bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido.

Figura 28.

Balance de energía para la etapa de enfriamiento de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido



Nota: El enfriamiento se ejecuta a un descenso de temperatura desde los 45°C hasta los 15°C por un tiempo de 15 min.

Los datos que se requieren para la ecuación [14] son:

$m_{bebida\ lactea} = 4.647Kg$	$Cp_{bebida\ lactea} = 3749,074J/Kg.\text{°C}$	$\Delta T = (45 - 15)\text{°C}$
--------------------------------	--	---------------------------------

$$Q = 4.647Kg/3600 * 3749,074 \frac{J}{Kg.\text{°C}} * (45 - 15)\text{°C}$$

$$Q = 146026.43J$$

Si los tanques de mezcla y pasteurización en enfriamiento operan por 15 min al día el consumo de energía será de:

$$Q = 205261.39J/3600 * 15min/900s$$

$Q = 0.676J/s$, siendo la transmisión de calor generada por cada uno de los tanques.

Entonces la transmisión de calor generada será:

$$Q = 0.676J/s = 0.676J \text{ watts .}$$

Ahora se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 388,69 pesos que al multiplicarlo por 2 es igual a 777,38 pesos de energía consumida por los dos tanques. Se debe calcular la masa de agua para el enfriamiento de la mezcla con una cantidad de 4674 kg en cada tanque, el balance se determina aplicando la ecuación [16].

$$Q_e = 0.676 \text{ J/s} \cdot \frac{4.186 \text{ J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (45 - 15)^\circ\text{C}$$

$$m_e = \frac{Q_e}{C_{p_{\text{agua}}} \Delta T}$$

$$m_e = \frac{\frac{0.676 \text{ J}}{\text{s}}}{4.186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (45 - 15)^\circ\text{C}}$$

$$m_e = 4.84 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

El flujo masico de agua necesario para cada tanque de mezcla y pasteurización para generar el descenso de temperatura desde 45°C a 15°C es de 4.84 kg/s.

Etapa	Elaboración y adición de jugo concentrado o pulpa de frutas
Operaciones unitarias	Elaboración de jugo concentrado de fruta.
	Adición de jugo concentrado de fruta a la bebida láctea fermentada

Descripción: La concentración y cocción de la salsa de fruta se realiza en una marmita de doble camisa provista de una hélice y tapa que consiste en una rápida concentración de fruta al 16%, y azúcar al 10 %, previamente estandarizada con un contenido de solidos solubles de 68°Brix con una temperatura de 45°C: esta se adiciona directamente a la bebida láctea fermentada. En la Tabla 37 se presentan las variables que intervienen en esta etapa.

Tabla 37.

VARIABLES A CONTROLAR EN LA PREPARACIÓN Y ADICIÓN DE LA SALSA DE FRUTA Y/O SABORIZANTE.

Etapa del proceso	Variable	Definición conceptual	Unidad de medida
Elaboración y Adición de la salsa de mora/ saborizante y colorante	Cantidad total de la bebida láctea a base de lactosuero ácido	La cantidad total de la mezcla (leche descremada, lactosuero ácido, azúcar, estabilizante, cultivo, conservante y salsa de mora, colorante y saborizante)	11079,38 kg
	Tiempo de preparación de la salsa de mora	Periodo determinado para la cocción de la salsa de mora.	45 a 60 min, hasta alcanzar °Brix
	Tiempo de adición de la salsa a los tanques	Periodo determinado para enviar la salsa desde la marmita hacia los tanques No.1 y tanque No.2	15 min
	Tiempo de dispersión de la salsa en la bebida.	Periodo determinado para la adición de la salsa de mora, colorante, saborizante y conservante hacia los tanques No.1 y tanque No.2	15min
	Tasa constante de calentamiento	Temperatura en grados centígrados hasta la dispersión de la salsa.	15°C
	Tasa de temperatura para la salsa	Temperatura en grados centígrados de la salsa para la adición a la mezcla	45°C
	Requerimientos microbiológicos	Según su norma técnica colombiana 5583/2007	UFC/g
	Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesitan los tanques para la dispersión de la salsa.	Watts (W) Julio/segundo J/s
	Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesita la marmita para la cocción de la salsa de mora.	Watts (W) Julio/segundo J/s

Nota: Las variables a controlar en la etapa de adición de la salsa de mora y/o saborizante son. Temperatura de la salsa a 45°C, temperatura de la mezcla a 15°C y tiempo. Fuente: elaboración propia.

Una vez elaborada la salsa de fruta, se adiciona a la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido, para esto en cada uno de los tanques debe haber agitación continua con el fin de romper el coágulo y de tal manera facilitar la dispersión de la salsa de fruta. Por otra parte, la adición de los conservantes químicos como el sorbato de potasio, contribuye a la preservación del producto y se usa con frecuencia como controlador de post-acidez, permitiendo controlar el crecimiento microbiano, inhibiendo las enzimas metabólicas involucradas en la utilización de carbohidratos y citratos, como lactato deshidrogenasa, malato deshidrogenasa y fumarasa (Deshwal et. al. 2021, p.451). La adición del colorante se realiza en 1L de la bebida láctea y se

añade en el tiempo de agitación, el saborizante se mezcla con 1L de bebida láctea y de la misma manera se agrega en la agitación. De esta manera los insumos se homogenizan brindando un producto como lo es la bebida láctea fermentada con probióticos, sabor a mora.

En la Tabla 38, se presenta el balance de materia para la elaboración y adición de la salsa de mora y/o saborizado a la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido.

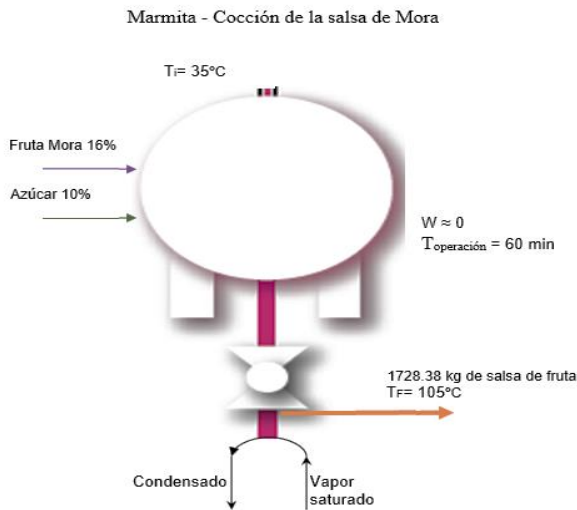
Tabla 38.

Balance de materia en la adición de la salsa de fruta y/o saborizado

Adición salsa de frutas y/o saborizado otros insumos					
Parámetro	Símbolo	Unidad	Fuente	%	Valor (kg)
Elaboración de la salsa					
Entrada					
Fruta escaldada	Fe	Kg	Calculado	16	1063.62
Azúcar	A	Kg	Calculado	10	664.76
Concentración 65°Brix					
Total, entrada					1728.38
Salida					
Salsa de mora	S	Kg	Calculado	16	1728.38
Total, Salida					1728.38
Adición de Salsa de mora y/o saborizantes					
Entrada					
Bebida lactea	B	Kg	Calculado	100	9.294
Salsa de fruta	S	kg	Calculado	16	1728.38
Conservante	C	Kg	Calculado	0.1	7.74
Saborizante	S	Kg	Calculado	0.03	2.79
Color rojo	Cr	kg	Calculado	0.5	46.47
Total, entrada					11.079,38
Salida					
Bebida láctea fermentada	B	Kg	Calculado	100	11079.38
Total salida					11079.38

Nota: En primera parte se presenta la cantidad de fruta en cocción. En segunda parte se presenta la cantidad de total de bebida láctea fermentada en una cantidad total de 11.079,38 kg. Fuente: Elaboración propia.

El balance de energía en la elaboración de la salsa de fruta se presenta a continuación: Se inicia con la mezcla de 1728,38 kg de salsa (mora y azúcar). La cocción de la salsa de fruta se realiza a una temperatura inicial de 35°C a 105° C, por un tiempo de 45 a 60 minutos hasta alcanzar los 68°Brix. En la Figura 29 se presenta la información requerida para realizar el balance de energía.

Figura 29.*Balance de energía para la cocción de la salsa de fruta*

Nota: La grafica presenta el proceso de elaboración de la salsa de fruta en una marmita. Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación [14], se calcula el balance de energía para el funcionamiento de la marmita en la elaboración de la salsa de fruta. Los datos que se requieren para la ecuacion [14] son:

$m_{salsa\ de\ fruta}$ $= 1728,38Kg$	$C_{psalsa\ mora} = 3.549J/Kg.\ ^\circ C$ Tomado de Viteri y Cornejo, 2020. p.3	$\Delta T = \Delta T$ $= (105 - 35)^\circ C$
---	--	---

$$Q = 1728,38Kg/3600 * 3.549J/Kg.\ ^\circ C * (105 - 35)^\circ C$$

$$Q = 119.27J$$

$$Q = 119.27J/3600 * 60min/3600s$$

Entonces la transmisión de calor generada para la marmita será de:

$$Q = 5.52\ watts$$

Ahora, se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 3173.94 pesos.

Aplicando la ecuación [14], se calcula el balance de energía para los tanques No.1 y No.2, los cuales contienen cada uno 5539.69 kg para un total de 11079.38 Kg de bebida láctea

fermentada a base de lactosuero ácido con salsa de fruta (Figura 30). Los datos que se requieren para la ecuación [14] son:

$m_{bebida\ lactea} = 5539.69Kg$	$Cp_{bebida\ lactea} = 3749.074J/Kg.^{\circ}C$	$\Delta T = (15)^{\circ}C$
----------------------------------	--	----------------------------

$$Q = 5539.69Kg/3600 * 3749,074 \frac{J}{Kg.^{\circ}C} * (15)^{\circ}C$$

$$Q = 86536.28J$$

Si los tanques que contiene la bebida láctea fermentada a base de lactosuero y saborizada con salsa de fruta, operan por 30 min al día el consumo de energía será de:

$$Q = 86536.28J/3600 * 30\ min/1800s$$

$Q = 0.400J/s$, siendo la transmisión de calor generada por cada uno de los tanques.

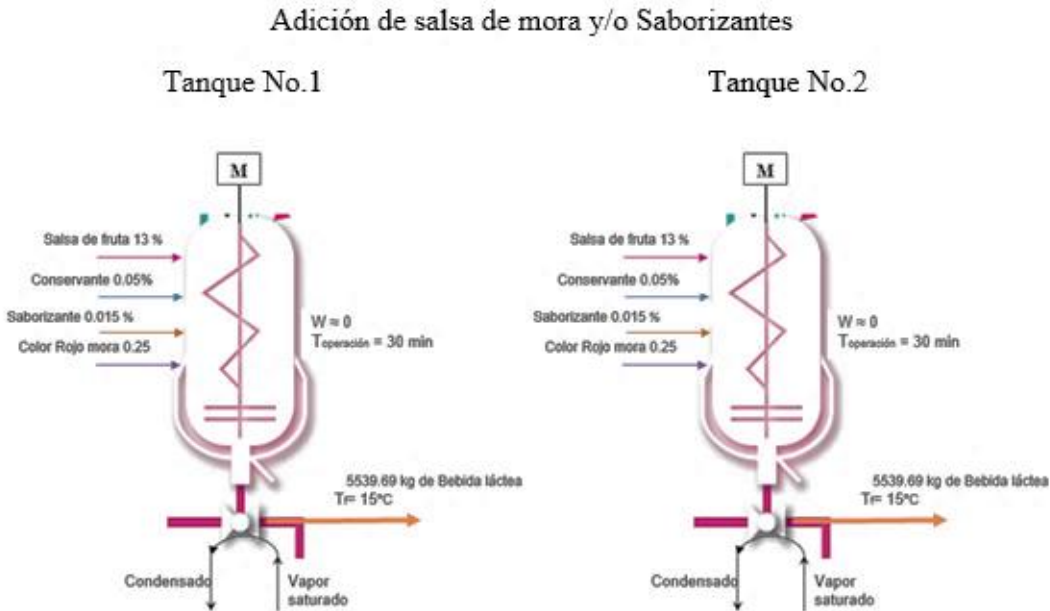
Entonces la transmisión de calor generada será:

$$Q = 0.400/s = 0.400\ watts .$$

Ahora se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 229.99 pesos que al multiplicarlo por 2 es igual 459.99 pesos de energía consumida por los dos tanques.

Figura 30.

Balance de energía para la adición de salsa de fruta a la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido



Nota: En la adición de la salsa de fruta a la bebida láctea se hace a una temperatura de 15°C , donde el equipo trabaja por un tiempo de 30 min: 15 para agitación rompiendo el coágulo y 15 min de dispersión de la salsa, adición de saborizante, colorante y conservante.

Etapa	envasado y almacenamiento
Operaciones unitarias	Envasado y enfriamiento.

Descripción: Cada tanque tiene anexo una tubería que contiene un filtro por donde pasa la bebida láctea, la cual es regulada por una válvula. La bebida es conducida hasta la tolva de la máquina empacadora, la cual cuenta con una capacidad de 2000 bolsas /h. El envasado de la bebida se realiza en bolsas de plástico de polietileno calibre 2 a dos tintas en presentación de 250 g y 1Litro, con sellado térmico y loteado. Cada vez que la maquina empaca cinco bolsas, un operario debe verificar el peso del producto envasado con el fin de revisar que su peso esté entre los 249.91 g a 250 g y 1000 g a 995.5g (requisito para la liberación de producto). Otro operario, debe ir empacando los paquetes por ocho unidades en las canastas de producto conforme.

Finalmente, las canastas limpias y en buen estado sin propasar el borde de la canastilla y el peso del producto; cuya capacidad de cada canastilla es de 25 paquetes por 8 unidades de 250g) y 45 bolsas (presentación de 1L), son llevadas al cuarto frío en donde se produce un descenso de la temperatura del producto (15°C a 4°C). Durante el transporte y la comercialización es prioritario no romper la cadena de frío porque de ello depende conservar la inocuidad del producto y prevenir reacciones de deterioro como la post-acidificación (Deshwal et. al. 2021, p.508). En la Tabla 39 se presenta las variables a controlar en esta etapa.

Tabla 39.

Variables a controlar en el envasado de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido

Etapa del proceso	Variable	Definición conceptual	Unidad de medida
Envasado y almacenado	Cantidad total de la bebida láctea fermentada.	La cantidad total de la vista láctea fermentada a base de lactosuero ácido	10857.79 kg
	Cantidad de presentación de la bebida láctea	Paquete por 8 unidades de 250g y 1L	22400 unid 5462,02 unid
	Tiempo de envasado.	Periodo determinado de succión que se contabiliza a partir del momento que es encendida la bomba, hasta depositar la bebida láctea en su respectivo empaque y presentación.	3 horas
	Tiempo de almacenamiento del producto terminado	Periodo determinado para que la bebida láctea baje su temperatura y se conserve.	24 horas
	Tasa de sostenibilidad de temperatura	La temperatura que no debe bajar en exceso expresada en grados centígrados	15°C
	Tasa de descenso de la bebida láctea fermentada. (almacenamiento).	Temperatura en grados centígrados para el enfriamiento en el cuarto frío	4°C
	Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesitan la bomba centrífuga para enviar la bebida hacia la envasadora	Watts (W) Julio/segundo o J/s
	Energía	La transmisión de calor y/o energía que necesita la envasadora para empaquetar la bebida.	Watts (W) Julio/segundo o J/s

Nota: la tabla presenta las variables a controlar en el proceso de envasado de la bebida láctea a base de lactosuero ácido. fuente: elaboración propia.

En la Tabla 40, se presenta el balance de materia para el envasado de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido.

Tabla 40.

Balance de materia en el envasado de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido

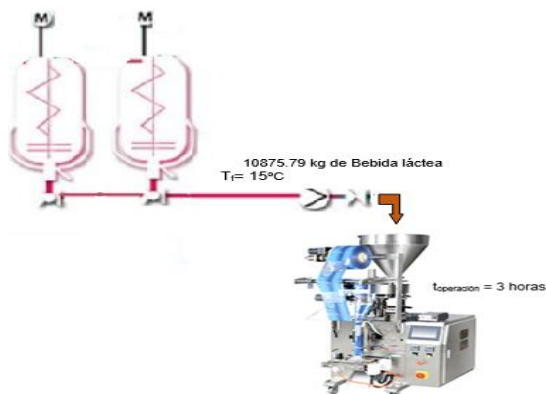
Envasado					
Parámetro	Símbolo	Unidad	Fuente	%	Valor (kg)
Entrada					
Bebida láctea fermentada	B	Kg	Dato Calculado	100	11079.38
Merma	M	Kg	Dato Calculado	2	221.59
Total entrada				98	10857,79
Salida					
Bebida láctea fermentada	B	Kg	Dato Calculado	98	10857.79
Total salida					10857.79

Nota: La tabla presenta el balance de materia final de la bebida lactea fermentada a base de lactosuero acido. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 31, se detalla la información requerida para determinar el balance de energía requerida para el transporte de la bebida láctea fermentada desde los tanques hacia la tolva de la empacadora.

Figura 31.

Balance de energía para el transporte de la bebida láctea fermentada desde los tanques de enfriamientos a la envasadora



Nota: Durante el tiempo de envasado los tanques 1 y 2 deben sostener la temperatura de la bebida láctea a los 15°C por un tiempo de tres horas hasta empacar los 10875.79 kg de bebida láctea fermentada. Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación [14], se calcula el balance de energía para los tanques No. 1 y tanque No.2. Los datos que se requieren para la ecuación [14] son:

$m_{bebida\ lactea} = 5539.69Kg$	$Cp_{bebida\ lactea} = 3749.074J/Kg.\text{°C}$	$\Delta T = (15)\text{°C}$
----------------------------------	--	----------------------------

$$Q = 5539.69Kg/3600 * 3749,074 \frac{J}{Kg.\text{°C}} * (15)\text{°C}$$

$$Q = 86536.28J$$

Si los tanques en el envasado operan por 3 horas al día el consumo de energía será de:

$$Q = 86536.28J/3600 * 3\text{ horas}/10800s$$

$Q = 9.085J/s$, siendo la transmisión de calor generada por cada uno de los tanques.

Entonces la transmisión de calor generada será:

$$Q = 6.677J/s = 6.677\text{ watts} .$$

Ahora se tiene el costo de Energía Kw/h que equivale a \$574.99, se multiplica por el consumo de energía Q, obteniendo un gasto de energía de 3.839 pesos que al multiplicarlo por 2 es igual 7.678 pesos de energía consumida por los dos tanques.

En la Figura 32, se presenta el proceso de envasado y los datos para calcular la energía requerida para operar la envasadora. La envasadora recibe una cantidad de 10.857,79kg de bebida láctea fermentada y el tiempo de trabajo estimado es de tres (3) horas.

Figura 32.*Balance de energía para la envasadora*

Nota: La envasadora trabaja por un tiempo de tres horas y empaca 22400 unidades de 250g y 5000 de 1L. Fuente: Elaboración propia.

Aplicando la ecuación [23], se calcula el balance de energía para la envasadora. Los datos que se requieren son:

Equipo: Bomba centrífuga

Motor: 2hp

Consumo: potencia x tiempo de funcionamiento

$$c = 2hp \times 180min / 3600 \times 1h / 60min \times 574.99Kw/h$$

$$c = 0.958 Kw/h; \text{ siendo el gasto de energía en pesos}$$

El cuarto frío almacena 22400 unidades de 250g y 5000 unidades de 1L de bebida láctea fermentada (Figura 33), por lo que la energía requerida para operar el cuarto frío se calcula aplicando la ecuación [22].

Figura 33.*Almacenamiento bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido*

Nota: El cuarto frío almacena y conserva a 4°C el producto terminado por un tiempo de 24 horas o más. Fuente: Elaboración propia

Aplicando la ecuación [23], se calcula el balance de energía. Los datos que se requieren son:

$$c = 1440 \text{ min} / 3600 \text{ X } 1 \text{ h} / 60 \text{ min} \text{ X } 574.99 \text{ Kw/h}$$

$$c = 0.372 \text{ Kw/h; siendo el gasto de energía en pesos.}$$

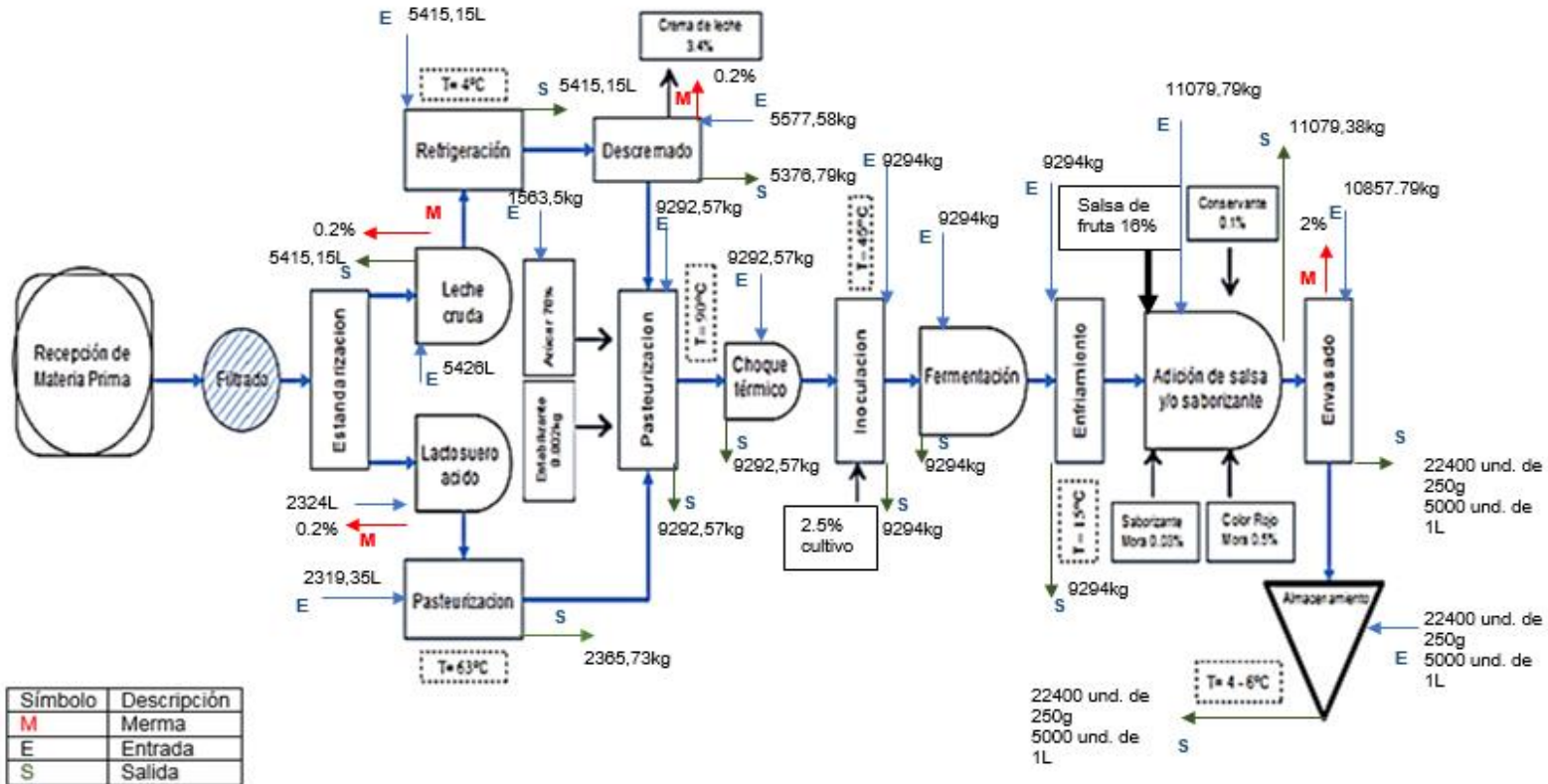
Balance de materia y energía general sobre entradas y salidas con mermas en la línea de producción de la bebida láctea fermentada

Para la leche entera se realiza una entrada en litros y la salida en kg inicia en la etapa de descremado. Se realiza un balance de materia con mermas de 2% en la recepción de la leche por el transporte de tubería y en la etapa de descremado una merma del 3.4% en pérdida de grasa, porcentajes que se consideraron dentro de los balances de materia.

Para el lactosuero se realiza una entrada en litros y la salida es en kilogramos. En las etapas de homogenización, descremado, pasteurización, choque térmico, inoculación, fermentación, enfriamiento, adición de salsa y/o saborizante sus entradas y salidas son expresadas en kilogramos. En la etapa de envasado se considera una merma del 2% por pérdida en el transporte de tubería y posibles fallas en el envasado de la máquina. En la Figura 34 se presenta el resumen general de entradas y salidas del proceso de elaboración de la bebida láctea fermentada.

Figura 34.

Entradas y salidas con mermas en el diagrama de flujo de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido.



Nota: El diagrama de flujo de la bebida láctea fermentada presenta el total de entradas y salidas con mermas de toda la cadena de producción. Fuente: Elaboración partir de datos de la investigación.

Balance total de energía

En la tabla 41, se presenta el balance general para los equipos requeridos en cada una de las etapas de procesamiento de la bebida láctea fermentada.

Tabla 41.

Balance total de energía para cada equipo requerido en cada una de las etapas de procesamiento de la bebida láctea fermentada.

Etapa	Equipo asociado al consumo de energía	Tiempo que dura la etapa	Consumo de energía (watts) calculada por balance de energía/día	Consumo energía total Kw/h	Costo (\$) del servicio de energía/día
Recepción de la leche cruda	2 tanques de almacenamiento y refrigeración	4 horas	0.025	0.006	28749
Recepción del lactosuero	Tanque de almacenamiento y refrigeración	4 horas	5.68	1.3632	3265.94
Pasteurización del lactosuero	Tanque de almacenamiento y refrigeración	30 min	2.588	0.07764	1488.74
Etapa de descremado leche cruda	Centrifugadora	2 horas	0.044	0.00528	25.299
Etapa adición de azúcar y estabilizante	2 tanques de mezcla	15 min	0.043	0.000645	49.449
Etapa pasteurización de la mezcla (leche descremada, lactosuero ácido, azúcar y estabilizante)	2 tanques de pasteurización	5 min	0.043	0.000215	1018.88
Choque térmico	2 tanques de pasteurización	15 min	0.886	0.01329	1018.88
Etapa de inoculación	2 tanques de inoculación	10 min	0.059	0.00059	67.848
Etapa de fermentación	2 tanques de fermentación	4 horas	0.016	0.00384	18.399
Etapa de enfriamiento	2 tanques de fermentación	15 min	0.676	0.01014	777.38
Cocción de la salsa	Marmita	60 min	5.52	0.3312	3173.94

Etapa adición salsa de fruta y/o saborizado	2 tanques de mezcla	30 min	0.400	0.012	459.99
Tanques en sostenimiento de temperatura a 15°C en el envasado	2 tanques de mezcla	3 horas	6.667	1.20006	7.678
Etapa de envasado	envasadora	3 horas	0.25	0.06	0.958
Etapa de almacenamiento	Cuarto frio	24 horas	0.05	0.072	0.372
Totales		41 horas	22.947 watts	3.859kw/h	39.222.087

Nota: La tabla sintetiza el consumo de energía en cada una de las etapas de elaboración de la bebida láctea fermentada. Fuente: Elaboración propia.

Identificación de recursos

Equipos, maquinaria e instrumentos auxiliares

En el apéndice 9 se exhibe la maquinaria y equipos necesarios para el procesamiento semi industrial de la bebida láctea fermentada, en ella se presenta la cantidad de equipos y/o utensilios con la descripción técnica, consumo promedio de energía en kW/h y el costo unitario. Las fichas técnicas se presentan en el apéndice 10.

Obras físicas y distribución en planta o adecuaciones

La tabla 42 permite identificar las áreas que intervienen en la elaboración de la bebida láctea; se estima que se requiere de un espacio de 780 m², es importante tener en cuenta que el área de proceso está integrada por los siguientes equipos: tanques de almacenamiento y enfriamiento: 710 m², Descremadora: 4.73 m², Tanque para lactosuero: 4.5m², Tanque fermentador: 4.8 m², Marmita: 2.8m², Cuarto de envasado: 9.3m², Canastillas plásticas: 62m², Estiba piso: 3m² = 91.13 m², sumando las franjas amarillas demarcadas para cada equipo, espacio entre cada equipo y el espacio para el movimiento del operario.

Tabla 42.

Áreas requeridas para la adecuación y distribución del área de proceso de elaboración de la bebida láctea fermentada

Maquinaria /equipo	Cantidad n	Ancho A (cm)	Largo L (cm)	Altura H (cm)	Total (cm)
Balanza	1	21	27	20	68
tanque de enfriamiento	2	135	-	220	710
Bomba descargue de leche	1	15	27	20	62
Canastilla plástica	50	60	40	25	6250
Carretilla de transporte	1	42	62	-	104
Descremadora	1	236	82	155	473
Tanque para suero	1	150	150	150	450
Tanque fermentador	2	100	4300	4300	8700
Marmita	1	50	127	105	282
Envasadora	1	180	360	390	930
Cuarto frio	1	216	219	240	675
Banco de hielo	1	50	230	220	500
Caldera	1	350	175	200	725
Total					19524
Otras áreas -zonas					
Descripción	Área total /m2				
Zona de despacho – descargue	100				
Planta de proceso	500				
Almacén de materia prima	50				
Laboratorio control de calidad	20				
Pasillos	50				
Mantenimiento	30				
Área de descanso	20				
Vestier y Lookers	50				
Oficinas	50				
Cuarto de desechos	20				
Total	780				

Fuente: Elaboración propia.

Descripción de obras físicas

La empresa para llegar a producir la bebida láctea debe ajustar sus instalaciones con espacios adecuados para disponer toda la maquinaria y equipo necesario, realizando una distribución de acuerdo con el procesamiento de la bebida y todas las áreas involucradas.

Los proyectos civiles de diseño, ampliación, modernización, mantenimiento de instalaciones y montaje de equipos y redes de servicios de la planta de bebida láctea fermentada,

deben cumplir con los requisitos sanitarios, seguridad industrial, salud ocupacional y sobre todo teniendo en cuenta los criterios que dicta la resolución 2674 del 2013, con base a: accesos diseño y construcción abastecimiento de agua disposición de residuos líquidos y sólidos instalaciones sanitarias pisos y drenajes, paredes, techos, puertas, ventanas, iluminación y ventilación. La distribución de la planta se muestra en la Figura 35, donde se observa la distribución de las áreas administrativas y la separación de las operaciones del proceso. Se tiene en cuenta el orden desde la recepción de la materia prima, hasta la distribución final del producto. Desde la posición de los autores: Casals et. al., (2017, p.35) así se obtienen los siguientes beneficios de una buena distribución: Se utiliza mejor la maquinaria, la mano de obra y los servicios, se fabrica más rápido, se obtiene una vigilancia mejor y más fácil, se obtiene una mejor congestión, se facilita el mantenimiento del equipo y se obtiene un mejor aspecto de las zonas de trabajo.

Costos

Los costos variables de la planta de procesamiento de la bebida Láctea están identificados en costos directos y costos indirectos (Tablas 43, 44, 45,46 y 47) y costos indirectos (Tablas 48y 49).

Figura 35.

Plano descripción planta procesadora de bebida láctea fermentada

No.	Areas
1	Recepcion
2	Area administrativa
3	Zona de descanso
4	Pasillo 1
5	Recepcion de materias primas
6	Laboratorio y control de calidad
7	Carto de sanitizacion
8	Cuarto desinfeccion del operario
9	Vestieres y lockers
10	Pasillo 2
11	Despachos
12	Mantenimiento
13	Produccion
14	Recepcion de materias primas
15	Tanques de almacenamiento y refrigeracion
16	Centrifugadora de discos
17	Tanques de mmezcla, pasteurizacion, inoculacion y fermentacion
18	Tanque almacenamiento del lactosuero
19	Marmita
20	Envasadora
21	Cuarto frio
22	Banco de hielo
23	Caldera
24	Almacenamiento agua potable



Fuente: Elaboración partir de datos de la investigación.

Tabla 43.

Costos toma de muestras para producto, lactosuero, agua y personal manipulador por laboratorio externo.

Derivados lácteos				
Muestra	Análisis microbiológicos	Técnica / método	Valor por muestra	Tiempo de realización
Suero Lácteo	Sólidos No grasos	Proteína	Ultrasónico	\$ 10.000
	Grasa		AOAC 2001.14 21 St. Ed 2019	\$ 48.000
	Lactosa		AOAC 960.39 21 St. Ed 2019	\$ 45.000
	Cloruros		AOAC 930. 28	\$ 95.000
	Sólidos Totales		Argentometría	\$ 50.000
	Cenizas Totales		Cálculo Gravimétrico	\$10.000
	Calcio		AOAC923.03 21 st. Ed 2019	\$27.000
		AOAC 985.35 21 st. Ed 2019	\$69.000	1 vez al mes
Muestra	Análisis microbiológicos	Técnica / método	Valor por muestra	Tiempo de realización
Productos lácteos	<i>Listeria monocytogenes</i>	FDA/BAM	\$89.000	2 veces al año
Bebida lactea Resolución 2310/86	Coliformes Totales (NMP) Coliformes Fecales (NMP) Recuento de Mohos y Levaduras	ICMSF: 2000 NMP ICMSF: 2000 NMP NF V08-059:2002	\$65.000	1 vez al mes.
Control de áreas y personal				
Muestra	Análisis microbiológicos	Técnica / método	Valor por muestra	Tiempo de realización
Análisis de manos y uñas para manipuladores	Recuento Coliformes Totales Recuento de <i>Escherichia coli</i> Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> coagulasa positiva	Recuento en placa	\$ 36.000 Por persona	Trimestral
Superficies	Recuento de Aerobios Mesófilos Recuento de Coliformes Totales Recuento de Coliformes Fecales Recuento de Mohos y Levaduras	Recuento en placa	\$ 36.000	Trimestral
Ambientes	Recuento de Aerobios Mesófilos Recuento de Coliformes Totales Recuento de Mohos y Levaduras	Recuento en placa	\$36.000	Trimestral
Agua potable				
Muestra	Análisis microbiológicos	Técnica / método	Valor por muestra	Tiempo de realización
Agua potable Análisis Microbiológico	Recuento de Aerobios Mesófilos Coliformes Totales <i>Escherichia coli</i>	–SM9215B 21 th Edition 2005. – ATP D05 – ATP D05 – 0035	\$57.000°	2 veces al año

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 44, se presenta los precios de los análisis bromatológicos de acuerdo con la resolución 333/2011, por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano.

Tabla 44.

Tabla nutricional de la bebida láctea fermentada

Bebida láctea		
*Análisis bromatológico básico	Método utilizado	Valor por muestra
Proteína	Kjeldahl	\$191.590
Grasa Total	Hidrólisis	
Carbohidratos	ácida	
Humedad	Cálculos por diferencia Secado por estufa Calcinación	
Cenizas	Gravimetría	
Sólidos Totales	Digestión	
Fibra Cruda	Acido/Alcalina y Calcinación Determinación Indirecta Factor de	
Calorías	Atwater	
*perfil lipídico básico	Método utilizado	Valor por muestra
Grasa Insaturada (g/100g)	Cromatografía de Gases A.O.C.S. Ce1c-89 Cromatografía de Gases	\$374.000
Grasa Trans (g/100g)	A.O.C.S. Ce1c-89 Cromatografía de Gases A.O.C.S. Ce1c-89	
Grasa Saturada (g/100g)	Cromatografía de Gases A.O.C.S. Ce1c-62 Cromatografía de Gases	
Grasa Monoinsaturada (g/100g)	A.O.C.S. Ce1c-62	
Grasa Poli-insaturada (g/100g)		

Nota: La tabla presenta el análisis bromatológico y los contenidos básicos que debe contener una tabla nutricional.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 45 presenta los costos para la disposición de personal capacitado en la elaboración de la bebida láctea fermentada. La Tabla 46 exhibe los costos de la indumentaria para el personal manipulador de alimentos.

Tabla 45.*Costo mano de obra*

Descripción	Salario minino	Auxilio de transporte	Pensión	Caja de compensación	Prima de servicios (Provisión mensual)
Operario 2	\$908.526	\$106.454	\$109.023	\$36.341	\$84.581
Técnico en Alimentos / Ingeniero Alimentos	\$1.642.749	\$106.454	\$109.023	\$36.341	\$84.581

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 46.***Dotación para el personal manipulador de alimentos*

Descripción	*Cantidad (anual)	Valor unitario	Valor total (x 2)
Blusa + pantalón blanco antifluido	3	\$ 28.900	\$ 173.400
Cofia + malla + tapabocas	3	\$ 15.500	\$ 93.000
Botas caña larga blancas	2	\$ 37.500	\$ 150.000
Overol dos piezas recolector de leche	3	\$ 42500	\$ 255.000
Botas de caucho punta de acero	2	\$ 57000	\$ 228.000
Delantal de protección	3	\$ 18000	\$ 108.000
Gafas de protección	2	\$ 5800	\$ 11.600
Tapa oídos industrial	3	\$ 1950	\$ 23.200
Overol bioseguridad descartable	5	\$ 16000	\$ 160.000
Total			\$ 972.200

Nota: * se suministra tres veces al año. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta a que el producto de la bebida láctea fermentada es un alimento de categoría de riesgo alto para el consumo humano de acuerdo al riesgo de salud pública (Ministerio de salud y protección social, 2015); por ende es necesario la expedición del registro sanitario (Tabla 47).

Tabla 47.*Costo Registro sanitario del producto*

Registro sanitario	
Descripción del producto	Valor unitario
Registro sanitario de Alimentos de alto Riesgo	\$ 5996.267

Fuente: Tomado del manual Tarifario del 2021. Invima <https://www.invima.gov.co/tarifas>

Tabla 48.*Costos equipos de oficina y servicios de luz y agua*

Costos equipos		
Descripción	Cantidad	Valor unitario
Computador	1	\$ 1.429900 + IVA
Escritorio	1	\$ 219.950 + IVA
Silla	1	\$ 115.000 + IVA
Archivador	1	\$ 320.000 + IVA
Costos servicios Luz		
Descripción	Costo (\$) del servicio de energía/día	Consumo energía total Kw/h
Luz	39.222.087	574.99
Costos servicios Agua		
Descripción	consumo	Valor unitario
Agua	m3	Pesos

Nota: Los equipos como computador, escritorio, silla y archivador, muestran su valor unitario. Así mismo el consumo de luz requerido por el balance total de energía y agua por el consumo directo m3. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49.*Costos materiales de construcción*

Material	Cantidad	Valor unitario
Cemento	Bulto	\$ 25.000
Ladrillo / Bloque rosado	Unidad	\$ 950
Arena	m3	\$ 95.019
Pavimento epoxico	caneca	\$ 205.000
Mano de obra	Dia	\$ 80.000

Nota: Los costos de producción como: cemento, ladrillo arena, pavimento epoxico y mano de obra presentan su valor unitario. Fuente: Elaboración propia.

Control de calidad

Para el normal desarrollo de las funciones dentro de las actividades de la empresa procesadora de bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido, es necesario tener en cuenta la normatividad existente (Apéndice 11), para dar cumplimiento a los requisitos establecidos en los decretos, resoluciones, normas técnicas colombianas y Codex alimentario.

Aseguramiento de la calidad

La aplicación y ejecución de las buenas prácticas de manufactura por parte de las empresas lácteas dedicadas a la elaboración, producción, comercialización, almacenamiento y distribución de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido, tienen el cumplimiento y requisito de aseguramiento de la calidad con base a la Resolución 2674/2013, resumida en la Figura 36, que se enfoca en asegurar la calidad de los productos, brindando al personal capacitación constante y necesaria para que cada uno de los colaboradores se comprometa con su papel en el aseguramiento de la calidad para brindar un producto inocuo y seguro; por esta razón la higiene personal y las normas de manipulación sanitaria, así como la limpieza y desinfección de las áreas de trabajo, son factores importantes en la producción de bebidas lácteas fermentadas de calidad. Estas medidas previenen la contaminación de las materias primas como del producto al reducir o eliminar los riesgos, garantizando de esa manera que el producto final sea seguro y que no representen una amenaza para la salud de las personas que los consumen.

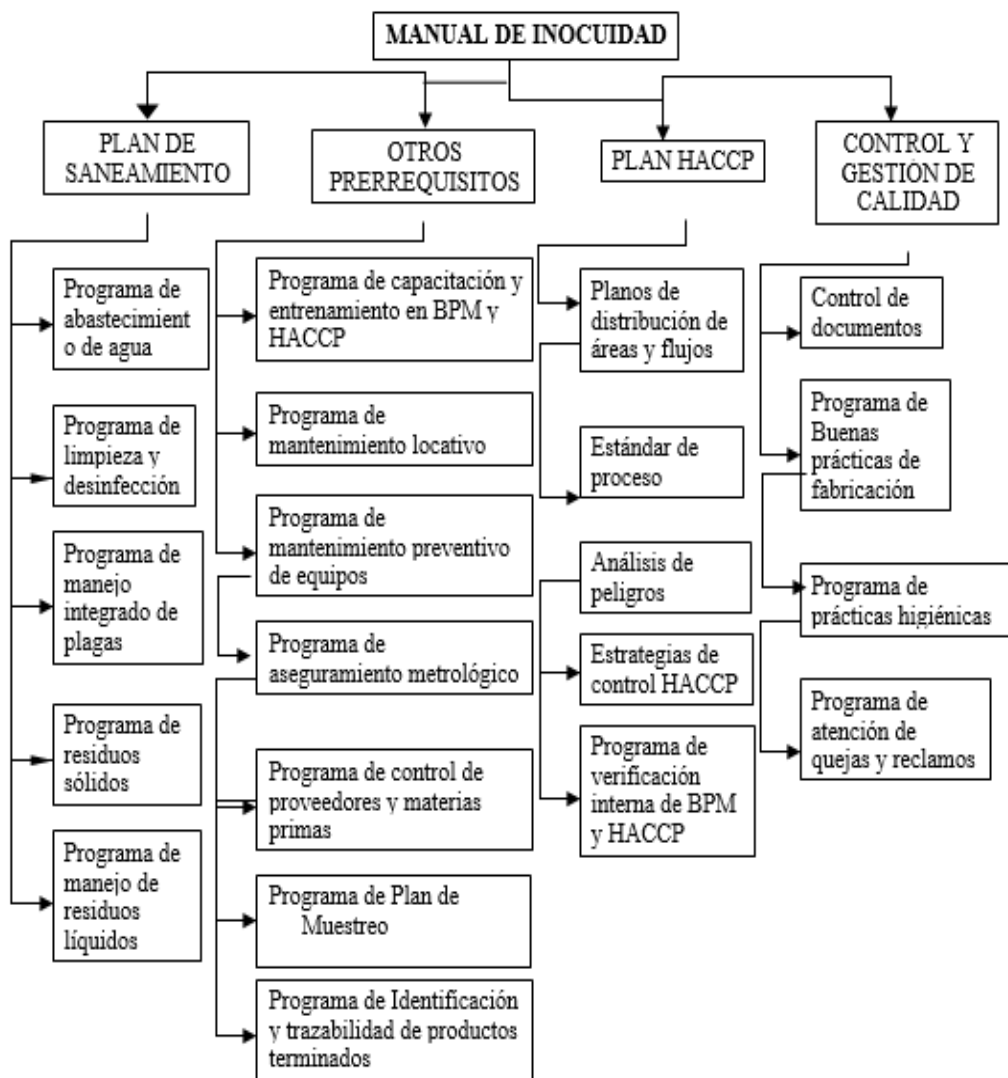
Puntos críticos de control

El *Codex* define un punto crítico de control (PCC) como "una etapa donde se puede aplicar un control y que sea esencial para evitar o eliminar un peligro a la inocuidad del alimento o para reducirlo a un nivel aceptable" (Organización Panamericana de la Salud, 2017). Los

puntos críticos de control para el procesamiento de la bebida láctea a base de lactosuero ácido se presentan en la Tabla 50.

Figura 36.

Estructura del sistema de inocuidad de las empresas lácteas en la elaboración de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido



Nota: Se presenta el plan de aseguramiento de calidad con programas y prerrequisitos, para dar cumplimiento a la normatividad vigente. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50.*Reporte de puntos críticos de control para el procesamiento de la bebida láctea fermentada*

Etapa	TIPO/ P.C.C	Símbolo					PELIGROS/ RIESGOS	VARIABLE DE CONTROL	RANGO
		○	□	D	⇒	▽			
Lavado y desinfección	P.C.		●				Residuos de grasa, piedra de leche y contaminación de flora microbiana	Concentraciones de lavado y desinfección, refuerzo en las operaciones manuales	
Recibo de leche y almacenamiento	P.C.		●				Selección y clasificación inadecuada de leche. Multiplicación bacteriana	Pruebas de plataforma. Temperatura	4- 6°C
Almacenamiento y pasteurización del lactosuero	P.C		●				Multiplicación bacteriana	Temperatura y Tiempo	Pasteurización 63°C 30 minutos
Pasteurización	P.C.C.		●				No alcanza la temperatura ideal y el equipo no lo detecta a tiempo	Temperatura y Tiempo	85 - 90°C por 5 minutos
Choque térmico	P.C.		●				Multiplicación bacteriana	Temperatura y Tiempo	45°C por 15 minutos
Inoculación	P.C.		●				Contaminación del empaque o mal pesaje	Cantidad Correctas BPM en el operario	
Fermentación	P.C.				●		La temperatura no constante inactiva bacterias productoras de ácido láctico en la bebida e inhiben el crecimiento de otros microorganismos que no toleran las condiciones ácidas y la competencia).	Temperatura y tiempo pH Acidez	45°C por 4 horas 6.4 60°Th
Enfriamiento	P.C.		●				Multiplicación microbiana y	Temperatura y tiempo	15°C por 15 minutos

							aumento de acidez.		
Adición de la salsa de mora, saborizante, colorante y conservante	P.C.		●				La salsa este a una alta temperatura y no cumpla con los grados °Brix.	Temperatura de adición °Brix	45°C 68°
Envasado	P.C.				●		Contaminación del empaque Contaminación por mal sellado	Desinfección y sanitización del empaque. Temperatura y presión de sellado	
Almacenamiento	P.C.					●	Mal funcionamiento del cuarto y/o posible des calibración del tablero	Temperatura. Periódica calibración de equipos.	4- 6 °c

Nota: La identificación de un PCC se determina en cada etapa del procesamiento, con la identificación de un símbolo (inicio, operación, espera, transporte y almacenamiento), los peligros y/o riesgos, la medida preventiva y el rango. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Fase I: comparación de métodos

Se comprueba que el analizador de leches Lactoscan ref. sp Milkotronic es un equipo fiable para el análisis de los parámetros fisicoquímicos: proteína, grasa, SNG, lactosa, densidad y pH, lo que lo convierte en un sistema útil y práctico en el laboratorio.

Con base a los resultados obtenidos, se puede concluir que el método Lactoscan para determinar la caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos es suficiente para el propósito que a la empresa le interesa, ya que ahorra tiempo y costos en el análisis del parámetro deseado.

Los análisis de resultados por el método de referencia de laboratorio no presentaron diferencias estadísticas significativas, frente al método Lactoscan, por lo que se concluye que para un valor $F < 4,747$ y un valor $P > 0,05$ no existe prueba estadística que rechace $H_{0_{Lab}}$. Por lo tanto, se infiere que el resultado del trabajo de ambos métodos es el mismo; esto se logró comprobar mediante la aplicación de diferentes estadísticos (t de Student y F de Fisher); concluyendo de esta manera que los métodos para la caracterización fisicoquímica de las muestras de lactosuero ácido son exactos y precisos.

Se recomienda a las empresas procesadoras de queso doble crema del municipio de Belén evalúen el presente estudio estadístico, de acuerdo a la caracterización fisicoquímica del lactosuero ácido con los siguientes parámetros: Proteína, grasa, SNG, lactosa, densidad y pH, lo que convierte al subproducto en una materia aprovechable, debido a su alto valor nutritivo y así mismo corregir posibles errores en la etapa de desuerado, contribuyendo en el rendimiento de su producto final.

La validación de las muestras de lactosuero ácido mediante el método de referencia y el método Lactoscan, debe ser considerada no sólo al momento de determinar el desempeño de ambos métodos, sino también al estandarizar un producto a base de lactosuero ácido por lo que se evaluó la composición de sus nutrientes.

Con la adquisición del equipo analizador de leches Lactoscan para el laboratorio de la empresa, el empresario tiene la confiabilidad de obtener resultados fiables en menor tiempo y a menor costo.

Fase II. Caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos

Por su contenido de proteína el suero puede ser alta fuente nutricional en productos alimenticios. Se deben continuar con los estudios de caracterización de proteína con técnicas instrumentales para identificar las fracciones proteicas del lactosuero y el contenido de las mismas.

Se evidencia que este lactosuero ácido obtenido de la etapa de desuerado de la elaboración de queso doble crema evidencia resultados fisicoquímicos que están conformes a la resolución 2310/86 y asimismo valores por encima a los permitidos, pero que permiten identificar la calidad de la leche y las variables del proceso. Ejemplo la proteína expuso un promedio 2,52%, los SNG con un promedio de 7,04%, la lactosa con promedio 3,63%, por debajo al de la normatividad (4.5%), la grasa en promedio de 0,43%, densidad en promedio 1,026%, ácido láctico en promedio de 0,48% valor muy cercano a (0.40%), el pH con un promedio de 4,99, cenizas totales en promedio 0,57% valor inferior a (0,80%) y un contenido de calcio con promedio de 123,2 mg/100g.

Las diferencias significativas entre empresas indica que hay factores externos e internos que pueden influir en la caracterización fisicoquímica, como por ejemplo cambios de proveedores o deficiencias tecnológicas en el proceso que evidencian la no estandarización de las operaciones y procesos de elaboración del queso doble crema.

Los lactosueros ácidos de las empresas que elaboran queso doble crema en el municipio de Belén pueden ser fuente de procesos para obtener derivados de lactosa hidrolizada de esta forma pueden emplearse en varios sistemas alimentarios y/o en la elaboración de polímeros para la elaboración de empaques a base de ácido poliláctico.

Debido a que la mayor parte de la industria láctea Belemita no cuenta con un sistema de tratamiento adecuado para el lactosuero y conociendo la inestabilidad del lactosuero ácido en procesos de secado y pulverizado, para aprovechar el valor nutricional a nivel de las proteínas y otros constituyentes de alto valor como lactosa, grasa, sólidos no grasos y densidad, los resultados de análisis fisicoquímicos y estadísticos consideran al lactosuero ácido una alternativa para uso directo en la industria de alimentos, es decir sin someterlo a procesos de fraccionamiento.

Fase III. Evaluación de alternativas de uso del lactosuero ácido- estudio de factibilidad tecnológica

El estudio técnico permitió conocer y analizar la tecnología, las materias primas e insumos necesarios y las instalaciones precisas para el equipamiento de una planta procesadora para una bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido y por tanto los costos de inversión y de operación relacionados, así como el capital de trabajo, la mano de obra calificada y dimensionar las necesidades de espacio físico para que el desarrollo de las operaciones se efectúe de manera habitual.

Dentro de la elaboración de la bebida láctea fermentada a base de lactosuero ácido se ejecutó el desarrollo del balance de materia y energía en cada etapa del proceso y/o operación unitaria, con el objetivo de conocer el valor energético de cada equipo durante su tiempo de trabajo, los cuales son de aporte para la toma de decisiones que pueden condicionar no solo el desarrollo del producto, sino también los costos de operación del proyecto.

Con la estandarización de la bebida láctea a base de suero ácido se permite brindar una alternativa de uso y valor agregado al lactosuero de las empresas lácteas Belemitas contribuyendo al crecimiento empresarial y a la problemática ambiental.

Recomendaciones

Se sugiere que las empresas lácteas del municipio de Belén Boyacá verifiquen y controlen las variables de sus procesos en la estandarización de del queso doble crema, debido que en la caracterización fisicoquímica del lactosuero acido se evidencio valores en contenidos altos como son: solidos no grasos, proteínas y esto puede afectar el rendimiento quesero de cada empresa y la calidad técnica del producto terminado.

Dada la situación de cada empresa, se recomienda evaluar la posibilidad de destinar la producción global de lactosuero a la elaboración de requesón, dado que a un plazo inmediato es la línea de producción tangible, lo que podría mitigar el no aprovechamiento del suero y ser un inicio en el cambio de cultura e iniciar a considerar el lactosuero un producto con valor comercial. Dado a lo anterior, se podría iniciar con la implementación de un tanque de almacenamiento para evitar la contaminación cruzada entre el proceso y la conservación del lactosuero acido a temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ para inhibir el crecimiento microbiano, que sea en acero inoxidable, con agitación para facilitar la transferencia de calor durante su pasteurización y el flujo de agua para su enfriamiento por convección.

Con base a este proyecto técnico e ingenieril y a la caracterización fisicoquímica y el análisis estadístico para conocer el valor del lactosuero acido en la elaboración del queso doble crema, se enfatiza y sugiere que este sea aprovechable como materia prima en una bebida lactea fermentada como opción para mitigar la problemática ambiental y ver la oportunidad de ganancia internamente en cada una de las empresas lácteas Belemitas, contribuyendo así al crecimiento regional con la demanda del producto y la generación de empleo para más familias.

Referencias Bibliográficas

- Agualongo, L., Aucatoma, D., Sagnay, D., Santillan, N., & Jácome, C. (2022). Cheese Whey, a By-Product from the Dairy Industry: Composition, protein recovery and applications. *Journal of Agro-Industry Sciences*, 4(1), 13–22. <https://doi.org/10.17268/jais.2022.002>
- Akal, C., & Yetişemiyen, A. (2016). Use of whey powder and skim milk powder for the production of fermented cream. *Food Science and Technology*, 36(4), 616–621. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.06816>
- Alcaldia Belen. (2020). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Belen Boyaca. Issue 9, pp. 1689–1699). <http://www.belenboyaca.gov.co/normatividad/acuerdo-no-082020>
- Araujo, Miguel. Arpi, J. (2007). Estudio para la producción y comercialización de una bebida láctea fermentada enriquecida con lactosuero. *Bachelor's thesis, Univesidad del Azuay*, p. 103.
- Argenta, A. B., Nogueira, A., & de P. Scheer, A. (2021). Hydrolysis of whey lactose: *Kluyveromyces lactis* β -galactosidase immobilisation and integrated process hydrolysis-ultrafiltration. *International Dairy Journal*, 117, 105007. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105007>
- Asas, C., Llanos, C., Matavaca, J., & Verdezoto, D. (2021). Whey: environmental impact, uses and applications via biotechnology mechanisms. *Agroindustrial Science*, 11(1), 105–116. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.13>
- Asunis, F., De Gioannis, G., Dessì, P., Isipato, M., Lens, P. N. L., Muntoni, A., Polettini, A., Pomi, R., Rossi, A., & Spiga, D. (2020). The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorisation. *Journal of Environmental Management*, 276, 111240. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111240>
- Beniwal, A., Saini, P., De, S., & Vij, S. (2021). Harnessing the nutritional potential of concentrated whey for enhanced galactose flux in fermentative yeast. *LWT*, 141, 110840.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110840>

- Bolwig, S., Brekke, A., Strange, L., & Strøm-Andersen, N. (2019). Valorisation of whey: A tale of two Nordic dairies. *From Waste to Value: Valorisation Pathways for Organic Waste Streams in Circular Bioeconomies*, 162–186. <https://doi.org/10.4324/9780429460289-9>
- Britten, M., & Giroux, H. J. (2022). Rennet coagulation of heated milk: A review. *International Dairy Journal*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105179>
- Bustamante, S. Z., González, J. G., Sforza, S., & Tedeschi, T. (2021). Bioactivity and peptide profile of whey protein hydrolysates obtained from Colombian double-cream cheese production and their products after gastrointestinal digestion. *Lwt*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111334>
- Cardemil, F. (2017). Comparison analysis and applications of the Bland-Altman method: correlation or agreement?. *Medwave*, 17(01), 1–6. <https://doi.org/10.5867/medwave.2016.01.6852>
- Castells, M. L., González, M., Mattos, C., Juliano, P., Mellinger, C., Sepulveda, J. U., Jorcín, S., Krolow, A. C., Di Risio, J., & López, T. (2017). Valorización del lactosuero. In *Alternativas de valorización de sueros de quesería. Instituto Nacional de Tecnología Industrial Gerencia de Cooperación Económica e Internacional INTI-Lácteos*. <https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/16>
- Cecilia, A., Zapata, C., Fredy, J., Múnera, H., Andrea, N., Rave, G., David, B., Roldán, L., Alejandra, M., & Uribe, G. (2019). Aprovechamiento de lactosuero para la producción de ácido láctico y posibles aplicaciones. *Revista Gipama*, 1(1), 169–178. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/gipama/article/view/3215>
- Cepeda, E. (2020). Estudio factibilidad creación centro de acopio lactosuero en el municipio belén (Boyaca) 1. *Univesidad Nacional Abierta y a Distancia*, 1–98.

- Chain, Sapag, Nassir -Chain, S. R. (2008). Preparación y evaluación de proyectos. *In Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Chen, H., Guan, K., Qi, X., Wang, R., & Ma, Y. (2020). α -Lactalbumin ameliorates hepatic lipid metabolism in high-fat-diet induced obese C57BL / 6J mice. *Journal of Functional Foods*, 75(July), 104253. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104253>
- Chourasia, R., Chiring, L., Abedin, M., Padhi, S., Singh, S. P., & Kumar, A. (2022). Bioresource Technology Reports Whey valorization by microbial and enzymatic bioprocesses for the production of nutraceuticals and value-added products Soy whey. *Bioresource Technology Reports*, 101144. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101144>
- Conde-Báez, L., López-Molina, A., Gómez-Aldapa, C., Pineda-Muñoz, C., & Conde-Mejía, C. (2019). Economic projection of 2-phenylethanol production from whey. *Food and Bioproducts Processing*, 115, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.02.004>
- Cordeiro, M. A., Souza, E. L. S., Arantes, R. M. E., Balthazar, C. F., Guimarães, J. T., Scudino, H., Silva, H. L. A., Rocha, R. S., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Silva, M. C., Pimentel, T. C., Granato, D., Costa, R. G. B., Cruz, A. G., & Martins, F. S. (2019). Fermented whey dairy beverage offers protection against *Salmonella enterica* ssp . *Enterica serovar Typhimurium infection in mice*. 6756–6765. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16340>
- Costa, A., Lopez-Villalobos, N., Sneddon, N. W., Shalloo, L., Franzoi, M., De Marchi, M., & Penasa, M. (2019). Invited review: Milk lactose—Current status and future challenges in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 5883–5898. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15955>
- Costa, G. M., Paula, M. M., Barão, C. E., Klososki, S. J., Bonafé, E. G., Visentainer, J. V., Cruz, A. G., & Pimentel, T. C. (2019). Yoghurt added with *Lactobacillus casei* and sweetened with natural sweeteners and/or prebiotics: Implications on quality parameters and probiotic survival. *International Dairy Journal*, 97, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.05.007>

- Darmali, C., Mansouri, S., Yazdanpanah, N., Nagy, Z. K., & Woo, M. W. (2022). Continuous lactose recovery from acid whey by mixed suspension mixed product removal (MSMPR) crystallizer in the presence of impurities. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 180, 108752. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108752>
- Das, B., Sarkar, S., Sarkar, A., Bhattacharjee, S., & Bhattacharjee, C. (2016). Recovery of whey proteins and lactose from dairy waste: A step towards green waste management. *Process Safety and Environmental Protection*, 101, 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.05.006>
- Deshwal, G. K., Tiwari, S., Kumar, A., Raman, R. K., & Kadyan, S. (2021). Review on factors affecting and control of post-acidification in yoghurt and related products. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.057>
- DomeneCh, R. (2018). La incertidumbre de la “significación” estadística. *Revista Médica de Chile*, 146, 1184–1189.
- Duarte, S. D. R. S. (2021). Caracterización química del perfil de ácidos grasos. *Armazenamento Em Diferentes Embalagens*. 1–109.
- Dybdahl, M., Selesko, D. B., & Mikkelsen, U. R. (2021). Safety evaluation of whey derived beta-lactoglobulin, Lacprodan® BLG. *Toxicology Reports*, 8, 617–626. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.03.012>
- Escalada, Luis Felipe, C., Enrique, D., & Jácome, V. (2021). Elaboración de una bebida instantánea a base de suero de leche , pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y harina de maíz , mediante secado por aspersión . 90. [https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/37648/1/Trabajo de Titulacion.pdf](https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/37648/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf)
- Eurachem. (2005). Métodos analíticos adecuados a su propósito. In *Métodos Analíticos Adecuados a su Propósito*.
- European dairy association. (2020). Economic report. *Economic Bulletin*, 16(3), 1–2.

Fischer, C., & Kleinschmidt, T. (2021). Valorisation of sweet whey by fermentation with mixed yoghurt starter cultures with focus on galactooligosaccharide synthesis. *International Dairy Journal*, 119, 105068. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105068>

Furtado, M. M. (2017). El rendimiento de la fabricación de quesos: métodos para evaluación y comparación. *Danisco Brasil Ltda*, 1–13.

Ganju, S., & Gogate, P. R. (2017). A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. *Journal of Food Engineering*, 215, 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.021>

Gharibi, H., Rashidi, A., Jahani-Azizabadi, H., & Mahmoudi, P. (2020). Evaluation of milk characteristics and fatty acid profiles in Markhoz and Kurdish hairy goats. *Small Ruminant Research*, 192, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106195>

Gilbert, A., Rioux, L., St-gelais, D., & Turgeon, S. L. (2020). Food Hydrocolloids Characterization of syneresis phenomena in stirred acid milk gel using low frequency nuclear magnetic resonance on hydrogen and image analyses. *Food Hydrocolloids*, 106, 105907. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105907>

Godina, L. D. A. (1985). Ciencia de la leche. *Principios de Técnica Lechera*, 1–416. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=LIBROSSLP.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000379>

Gómez Soto, J. A., & Sánchez Toro, Ó. J. (2022). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. Una revisión. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(01), 129–158. <https://doi.org/10.14482/inde.37.1.637>

Hageman, J. H. J., Danielsen, M., Nieuwenhuizen, A. G., Feitsma, A. L., & Dalsgaard, T. K. (2019). Comparison of bovine milk fat and vegetable fat for infant formula: Implications for infant health. *International Dairy Journal*, 92, 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.01.005>

- Han, R., Shi, R., Yu, Z., Ho, H., Du, Q., Sun, X., Wang, J., Jiang, H., Fan, R., & Yang, Y. (2021). Distribution and variation in proteins of casein micellar fractions response to heat-treatment from five dairy species. *Food Chemistry*, 365, 130640. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130640>
- Holgado, Chaile, M. M. E. A. P. (2019). Validación Parcial De Un Método De Detección De Pesticidas Organoclorados En Vinaza, Por Cromatografía De Gases. *Revista Boliviana de Química*, 36(5), 210–222. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.5.3>
- Huang, M., Wang, C., Cheng, M., Zhang, X., Jiang, H., & Wang, J. (2022). Effects of quantity and source of calcium on the behavior of goat milk after heating and acidification. *Lwt*, 153(September 2021), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112535>
- Huang, T., Tu, Z., Shangguan, X., Wang, H., Zhang, L., & Bansal, N. (2021). Characteristics of fish gelatin-anionic polysaccharide complexes and their applications in yoghurt : Rheology and tribology. *Food Chemistry*, 343, 128413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128413>
- Huertas, J. R., Lara, A. R., Acevedo, O. G., & Mesa, M. D. (2019). Milk and dairy products as vehicle for calcium and vitamin d: Role of calcium enriched milks. *Nutricion Hospitalaria*, 36(4), 962–973.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas Colombianas. NTC 805: 2005. Productos lácteos, leches fermentadas. <https://tienda.icontec.org/gp-productos-lacteosleches-fermentadas-ntc805-2005.html>
- Janiaski, D. R., Pimentel, T. C., Cruz, A. G., & Prudencio, S. H. (2016). Strawberry-flavored yogurts and whey beverages: What is the sensory profile of the ideal product? *Journal of Dairy Science*, 99(7), 5273–5283. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10097>
- Karim, A., & Aider, M. (2022). Production of prebiotic lactulose through isomerisation of lactose as a part of integrated approach through whey and whey permeate complete valorisation: A review. *International Dairy Journal*, 126, 1–14.

<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105249>

- Ketto, I. A., Knutsen, T. M., Øyaas, J., Heringstad, B., Ådnøy, T., Devold, T. G., & Skeie, S. B. (2017). Effects of milk protein polymorphism and composition, casein micelle size and salt distribution on the milk coagulation properties in Norwegian Red cattle. *International Dairy Journal*, 70, 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.10.010>
- Kravtsov, V., Kulikova, I., Mikhaylin, S., & Bazinet, L. (2020). Alkalinization of acid whey by means of electrodialysis with bipolar membranes and analysis of induced membrane fouling. *Journal of Food Engineering*, 277, 109891. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109891>
- Lajnaf, R., Trigui, I., Samet-Bali, O., Attia, H., & Ayadi, M. A. (2020). Comparative study on emulsifying and physico-chemical properties of bovine and camel acid and sweet wheys. *Journal of Food Engineering*, 268, 109741. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109741>
- Liebscher, E. (2021). Kendall regression coefficient. *Computational Statistics and Data Analysis*, 157, 107140. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2020.107140>
- Lievore, P., Simões, D. R. S., Silva, K. M., Drunkler, N. L., Barana, A. C., Nogueira, A., & Demiate, I. M. (2015). Chemical characterisation and application of acid whey in fermented milk. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 2083–2092. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1244-z>
- Lin, H., Li, S., Xu, C., Pang, M., & Wang, S. (2018). Simultaneous determination of galactose, glucose, lactose and galactooligosaccharides in galactooligosaccharides raw materials by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection. *Food Chemistry*, 263(639), 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.092>
- Liu, Q., Sun, Y., Cheng, J., Zhang, X., & Guo, M. (2022). Changes in conformation and functionality of whey proteins induced by the interactions with soy isoflavones. *Lwt*, 163, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113555>

- López, R., Becerra, M., & Borrás L. (2018). Caracterización físico-química y microbiológica del lactosuero del queso Paipa. *Ciencia y Agricultura*, 15(2), 99–106.
<https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n2.2018.8565>
- Ma, P. S. F. (2016). Validación de los métodos analíticos aplicados al agua potable utilizada en la elaboración de soluciones orales hidratantes de acuerdo a la farmacopea usp xxv como método documentado de control para el mantenimiento de la calidad de la misma en laborator. *In Universidad de San Carlos de Guatemala* (Vol. 4, pp. 1–75).
<http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/wp-content/subidas/6ARTÍCULO-III-INDESA-SIE.pdf>
- Macwan, S. R., Dabhi, B. K., Parmar, S. C., & Aparnathi, K. D. (2016). Whey and its Utilization. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(8), 1–22. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.508.016>
- Masotti, F., Cattaneo, S., Stuknyté, M., Pica, V., & De Noni, I. (2020). Analytical advances in the determination of calcium in bovine milk, dairy products and milk-based infant formulas. *Trends in Food Science and Technology*, 103, 348–360.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.013>
- Medina, S., Zossi, S., Diez, P., & Ruiz, M. (2019). Validación de una metodología para determinar ácido láctico por UPLC en jugos de caña de azúcar. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 95(2), 25-31. <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2019/03/95-2-7-ok.pdf>
- Menchik, P., Zuber, T., Zuber, A., & Moraru, C. I. (2019). Short communication: Composition of coproduct streams from dairy processing: Acid whey and milk permeate. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 3978–3984. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15951>
- Merkel, A., Voropaeva, D., & Ondrušek, M. (2021a). The impact of integrated nanofiltration and electro-dialytic processes on the chemical composition of sweet and acid whey streams. *Journal of Food Engineering*, 298. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110500>

- Merkel, A., Voropaeva, D., & Ondrušek, M. (2021b). The impact of integrated nanofiltration and electro-dialytic processes on the chemical composition of sweet and acid whey streams. *Journal of Food Engineering*, 298. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110500>
- Ministerio de salud. (2006). Decreto Número 60 de 2002. Por el cual se promueve la aplicación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico - HACCP en las fábricas de alimentos y se reglamenta el proceso de certificación. Bogotá, D.C. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Decreto0060-de-2002.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (2013). Resolución 2674 de 2013. Por la cual reglamenta el artículo 126 del decreto ley 019 de 2012. Bogotá, D.C. <https://www.invima.gov.co/documents/20143/441790/2674.pdf/8b63e134-a442-bae3-4abf-9f3270451c67>
- Ministerio de Protección Social. (2010). Resolución 1031 de 2010. Por la cual se modifica el artículo 6o de la Resolución 2997 de 2007 modificado por el artículo 1o de la Resolución 715 de 2009. Requisitos fisicoquímicos y microbiológicos de los lactosueros en polvo. Bogotá, D.C. https://normograma.invima.gov.co/normograma/docs/resolucion_minproteccion_1031_2010.htm
- Ministerio de Protección Social. (1986). Resolución 02310 de 1986. Por la cual se reglamenta parcialmente el Título V de la Ley 09 de 1979, en lo referente a procesamiento, composición, requisitos, transporte y comercialización de los Derivados Lácteos. Bogotá D.C. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/OT/Resolucion-2310-de-1986.pdf> Bogotá, D.C.
- Párraga, R., & Piloso Chávez, K. (2020). Evaluación fisicoquímica del lactosuero obtenido del queso fresco pasteurizado producido en el taller de procesos lácteos en la Espam “MFL.” *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 10(1), 2–10.

<https://doi.org/10.5377/elhigo.v10i1.9921>

Mota, L. F. M., Giannuzzi, D., Bisutti, V., Pegolo, S., Trevisi, E., Schiavon, S., Gallo, L., Fineboym, D., Katz, G., & Cecchinato, A. (2022). Real-time milk analysis integrated with stacking ensemble learning as a tool for the daily prediction of cheese-making traits in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 105(5), 4237–4255.
<https://doi.org/10.3168/jds.2021-21426>

Muñoz Murillo, J. P. (2018). Elaboración de manjar con nueces (*juglans regia*) utilizando diferentes niveles de lactosuero como sustituto de la leche. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(10), 27–33. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol2iss10.2018pp27-33>

Muvdi-Nova, C. J., Mora-García, S. A., & Cáceres-Roa, S. A. (2021). Evaluating volume reduction of clarified acid bovine milk whey via falling film vacuum evaporation. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 22(1).
https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL22_NUM1_ART:1241

Nielsen, E. N., Skibsted, L. H., Yazdi, S. R., Merkel, A., & Ahrné, L. M. (2022). Effect of calcium-binding compounds in acid whey on calcium removal during electrodialysis. *Food and Bioproducts Processing*, 131, 224–234.
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.11.008>

Organización Panamericana de la Salud. (2017). Análisis de peligros y puntos críticos de control - HACCP. In Repositorios IRIS (pp. 1–171).
<https://www.paho.org/es/documentos/analisis-peligros-puntos-criticos-control-haccp>

Orsini, L., & Aban, E. (2020). Validación del método analítico por cromatografía líquida de alta resolución para la cuantificación de conservantes en jugo de naranja. *Revista Con Ciencia*, 8, 21–28. http://www.scielo.org/bo/scielo.php?pid=S2310-02652020000200005&script=sci_arttext

- Ortiz, C. D. O. (2012). Estudio de factibilidad para la instalación de una planta industrial de lactosuero subproducto de las queserías en cajamarca. 1–202.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5224/1/UPS-QT03885.pdf>
- Palma, R. (2022). Análisis crítico del coeficiente de determinación (R^2), como indicador de la calidad de modelos lineales y no lineales. *Journal*, 20(2), 1–12.
<http://www.revistas.espol.edu.ec/index.php/matematica/article/view/1037>
- Pérez López, E., & Alvarado Rodríguez, D. C. (2018). Cuantificación por absorción atómica de Cu, Fe y Zn en alcohol destilado y agua. *UNED Research Journal*, 10(2), 387–396.
<https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.1998>
- Perring, L., & Tschopp, A. (2019). Determination of ash content of milk-based powders by Energy Dispersive X-ray Fluorescence. *Microchemical Journal*, 145(July 2018), 162–167. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.10.025>
- Pires, A. F., Marnotes, N. G., Rubio, O. D., Garcia, A. C., & Pereira, C. D. (2021). Dairy by-products: A review on the valorization of whey and second cheese whey. *Foods*, 10(5), 1–24. <https://doi.org/10.3390/foods10051067>
- Portnoy, M., Coon, C., & Barbano, D. M. (2021). Infrared milk analyzers: Milk urea nitrogen calibration. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 7426–7437.
<https://doi.org/10.3168/jds.2020-18772>
- Rabaioli, G., Kuhn, D., Beux, S., Fernanda, C., & Souza, V. De. (2019). Potential applications of dairy whey for the production of lactic acid bacteria cultures. 98.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.06.012>
- Raza, G. S., Herzig, K. H., & Leppälüoto, J. (2021). Invited review: Milk fat globule membrane—A possible panacea for neurodevelopment, infections, cardiometabolic diseases, and frailty. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 7345–7363.
<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19649>

- Ribeiro, M., Camelo, C., Carvalho, C., Rafael, J., Barroso, N., Barros, E., Silva, P., & Pertuzatti, P. (2021). Active packaging with starch, red cabbage extract and sweet whey: Characterization and application in meat. *Lwt*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110275>
- Rocha-mendoza, D., Kosmerl, E., Krentz, A., Zhang, L., Miyagusuku-cruzado, G., Mayta-apaza, A., Giusti, M., García-cano, I., Badiger, S., & Jiménez-flores, R. (2021). Invited review : Acid whey trends and health benefits. 1–14. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19038>
- Roy-García, I., Rivas-Ruiz, R., Pérez-Rodríguez, M., & Palacios-Cruz, L. (2019). Correlation: Not all correlation entails causality. *Revista Alergia Mexico*, 66(3), 354–360. <https://doi.org/10.29262/ram.v66i3.651>
- Ryan, M. P., & Walsh, G. (2016). The biotechnological potential of whey. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 15(3), 479–498. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9402-1>
- Sanchez, C. G. (2003). *Proyecto de desarrollo empresarial y tecnológico elaboración y comercialización de una bebida láctea a base de yogurt*. [[Proyecto aplicado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/203421999>
- Sanchez, H. K. (2013). “Estudio de factibilidad previo a la apertura de una empresa de bebidas nutritivas a base de suero de leche para escolares en el cantón píllaro”[Ingeniera Comercial, Mencion Productividad]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato. <http://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/903>
- Seguel, G., Keim, J. P., Vargas-Bello-Pérez, E., Geldsetzer-Mendoza, C., Ibáñez, R. A., & Alvarado-Gilis, C. (2020). Effect of forage brassicas in dairy cow diets on the fatty acid profile and sensory characteristics of Chanco and Ricotta cheeses. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 228–241. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17167>

- Serna García, M. B. (2018). Una historia de té y números. La prueba exacta de Fisher. *Revista Electronica de AnestesiaR*, 4(10), 2–5.
<http://revistaanestesia.org/index.php/rear/article/view/671/1190>
- Shelke, P. A., Sabikhi, L., Khetra, Y., Ganguly, S., & Baig, D. (2022). Effect of skim milk addition and heat treatment on characteristics of cow milk Ricotta cheese manufactured from Cheddar cheese whey. *Lwt*, 162, 113405.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113405>
- Simonis, P., Kersulis, S., Stankevich, V., Sinkevic, K., Striguniene, K., Ragoza, G., & Stirke, A. (2019). Pulsed electric field effects on inactivation of microorganisms in acid whey. *International Journal of Food Microbiology*, 291, 128–134.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.11.024>
- Skryplonek, K., Dmytrów, I., & Mituniewicz-Małek, A. (2019). Probiotic fermented beverages based on acid whey. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7773–7780.
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-16385>
- Smith, S., Smith, T. J., & Drake, M. A. (2016). Short communication: Flavor and flavor stability of cheese, rennet, and acid wheys. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3434–3444.
<https://doi.org/10.3168/jds.2015-10482>
- Tanguy, G., Tuler, I., Dolivet, A., Santellani, A. C., Leduc, A., Jeantet, R., Schuck, P., & Gaucheron, F. (2019). Calcium citrate insolubilization drives the fouling of falling film evaporators during the concentration of hydrochloric acid whey. *Food Research International*, 116, 175–183.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.009>
- Tarapata, J., Dybowska, B. E., & Zulewska, J. (2022). Evaluation of fouling during ultrafiltration process of acid and sweet whey. *Journal of Food Engineering*, 328(March), 111059.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111059>

- Torres, G. M. (2021). *Cuerpo de conocimiento de la gerencia de proyectos PMBOK para el estudio de pre-inversión con evaluación de oportunidades de negocio en empresas lácteas del municipio de Belén, Boyacá*. [Proyecto de investigación. Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/47848>
- Tsermoula, P., Khakimov, B., Nielsen, J. H., & Engelsen, S. B. (2021a). WHEY - The waste-stream that became more valuable than the food product. *Trends in Food Science and Technology*, 118, 230–241. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.025>
- Tsermoula, P., Khakimov, B., Nielsen, J. H., & Engelsen, S. B. (2021b). WHEY - The waste-stream that became more valuable than the food product. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.025>
- Urtasun, N., Mignon, A., Martínez-Alvarez, L. M., Baieli, M. F., Hirsch, D. B., Cascone, O., Dubruel, P., & Wolman, F. J. (2021). Synthesis and characterization of chitosan microspheres with immobilized dye as affinity ligand for the purification of lactoperoxidase and lactoferrin from dairy whey. *Separation and Purification Technology*, 255, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117700>
- Valdez Castillo, M., Pachapur, V. L., Brar, S. K., Arriaga, S., Blais, J. F., & Avalos Ramirez, A. (2022). Effect of the concentration of L-Phenylalanine and lactose on 2-Phenylethanol production by whey fermentation using the yeasts *Kluyveromyces marxianus* and *Debaryomyces hansenii* under co-culture mode. *Bioresource Technology Reports*, 18, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100994>
- Vega, M., Kulkarni, H. V., Johannesson, K. H., Taylor, R. J., & Datta, S. (2020). Journal of Applied Geochemistry, 104709. <https://doi.org/10.1016/j.jbgeo.2022.102086>

- Wan, Z., Khubber, S., Dwivedi, M., & Misra, N. N. (2021). Strategies for lowering the added sugar in yogurts. *Food Chemistry*, 344(November 2020), 128573.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128573>
- Wang, Q., Chen, G. Q., & Kentish, S. E. (2020). Isolation of lactoferrin and immunoglobulins from dairy whey by an electrodialysis with filtration membrane process. *Separation and Purification Technology*, 233, 115987.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115987>
- Wiking, L., Gregersen, S. B., Hansen, S. F., & Hammershøj, M. (2022). Heat-induced changes in milk fat and milk fat globules and its derived effects on acid dairy gelation. *International Dairy Journal*, 127, 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105213>
- Wolfschoon Pombo, A. F., Stephani, R., Perrone, Í. T., Leite Simões e Silva, M., & Pereira Silva, Á. A. (2022a). Modified Fleischmann's lactometer method for sweet whey total solids estimation. *International Dairy Journal*, 126, 1–4.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105228>
- Wolfschoon Pombo, A. F., Stephani, R., Perrone, Í. T., Leite Simões e Silva, M., & Pereira Silva, Á. A. (2022b). Modified Fleischmann's lactometer method for sweet whey total solids estimation. *International Dairy Journal*, 126.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105228>
- Wronkowska, M., Juśkiewicz, J., Zduńczyk, Z., Warechowski, J., Soral-śmietana, M., & Jadacka, M. (2018). Effect of high added-value components of acid whey on the nutritional and physiological indices of rats. *Journal of Functional Foods*, 50, 63–70.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.09.019>
- Xiong, L., Boeren, S., Vervoort, J., & Hettinga, K. (2021). Effect of milk serum proteins on aggregation, bacteriostatic activity and digestion of lactoferrin after heat treatment. *Food Chemistry*, 337, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127973>

Zandona, E., Blažić, M., & Režek Jambrak, A. (2021). Whey utilisation: Sustainable uses and environmental approach. *Food Technology and Biotechnology*, 59(2), 147–161.

<https://doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.6968>

Zhao, Z., & Corredig, M. (2016). Colloidal properties of casein micelles suspensions as a function of pH during concentration by osmotic stressing. *Food Hydrocolloids*, 60, 445–452.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.016>.

Apéndices

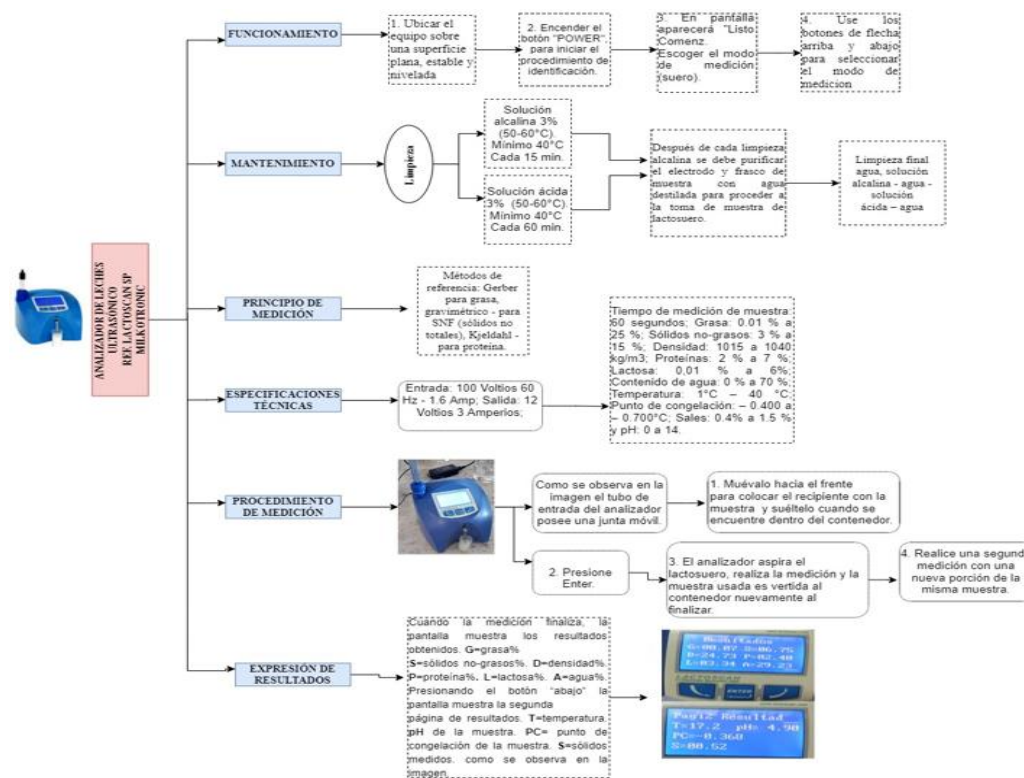
Apéndice A

Procedimiento de uso del Lactoscan

Para obtener resultados confiables en la medición de lactosuero resulta necesario una toma de muestra precisa, almacenaje correcto y preparación correcta antes de efectuar las mediciones. También se debe evitar burbujas de aire en la muestra y no exceder la temperatura máxima permitida de esta; posteriormente seguir correctamente el procedimiento para el manejo del equipo Lactoscan que se presenta en la Figura 1.

Figura 1.

Procedimiento para el correcto uso del equipo Lactoscan Milkotronic



Nota: Se muestra el equipo analizador Lactoscan con su respectivo funcionamiento, mantenimiento, principio de medición, especificaciones técnicas, procedimiento de medición y la expresión de resultados que se deben tener en cuenta en la toma de muestreo. Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación y el manual del equipo ref. Lactoscan sp milkotronic.

Apéndice B

Marchas analíticas para las determinaciones de cenizas totales (%m/m), calcio (mg/100g) y acidez como ácido láctico (%m/m)

Análisis fisicoquímico determinación de cenizas totales (% m/m)

La determinación gravimétrica del residuo se basa en la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra, el procedimiento de análisis fisicoquímico se resume en la Figura 2.

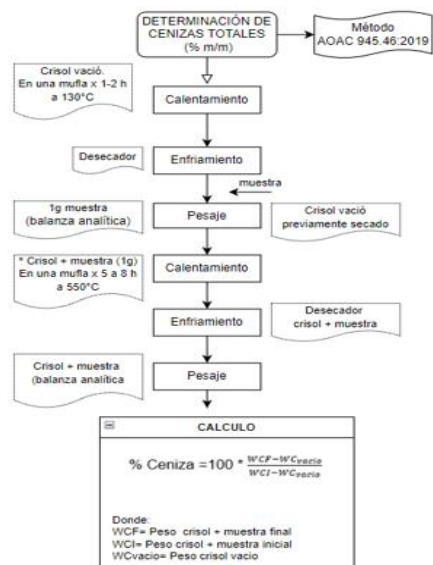
Insumos/materiales - Equipos

Crisoles o capsulas de porcelana; Deshidratante para desecador (silica gel con indicador, oxido de calcio u otro); Pinzas. Material usual de laboratorio: Papel secante u otros.

Balanza analítica; Desecador con deshidratante Y Horno mufla con alcance de temperatura 600°C.

Figura 2.

Diagrama de flujo para la determinación de cenizas totales (% m/m)



Nota: Se muestra el procedimiento para el análisis fisicoquímico de cenizas totales en el lactosuero ácido, siguiendo el método: AOAC 945.46:2019. *El tiempo de calentamiento de la muestra depende de la capacidad de retención de H₂O de la misma. Fuente: Elaboración propia con datos de (Duarte, 2021, P.32)

Determinación de calcio (mg/100g)

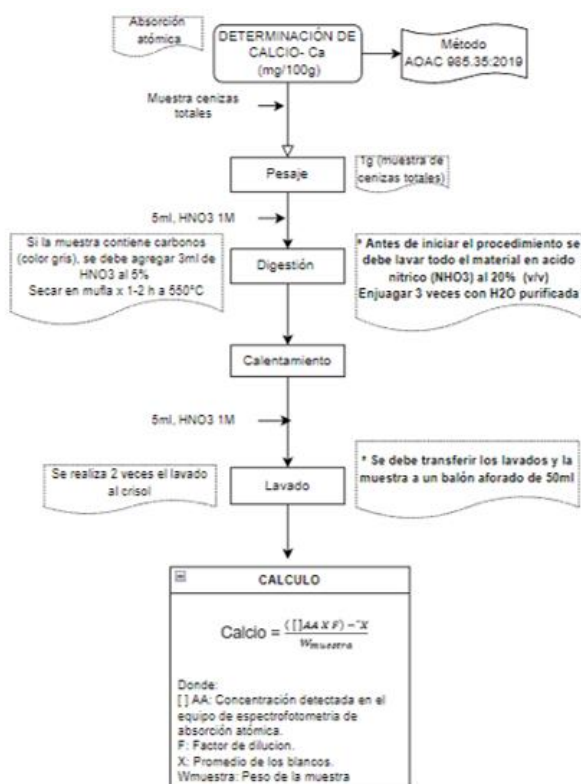
Este análisis se realiza por espectrometría de absorción atómica y su procedimiento se muestra en la Figura 3.

Insumos/materiales

Agua desmineralizada; ácido nítrico 0,1 M; crisoles o capsulas de porcelana; balones de aforo de 50 mL; pipetas; vasos de precipitación; goteros.

Figura 3.

Diagrama de flujo para la determinación de calcio



Nota: Se muestra el procedimiento para la determinación de calcio en el lactosuero ácido, siguiendo el método: AOAC 985.35:2019. Se debe tener en cuenta * Antes de iniciar el procedimiento se debe lavar todo el material en ácido nítrico (HNO₃) al 20% (v/v). Enjuagar 3 veces con H₂O purificada. * Se debe transferir los lavados y la muestra a un balón aforado de 50ml. Fuente: Elaboración propia con datos de (Vivas, 2020, p.3)

Determinación de acidez como ácido láctico (% m/m)

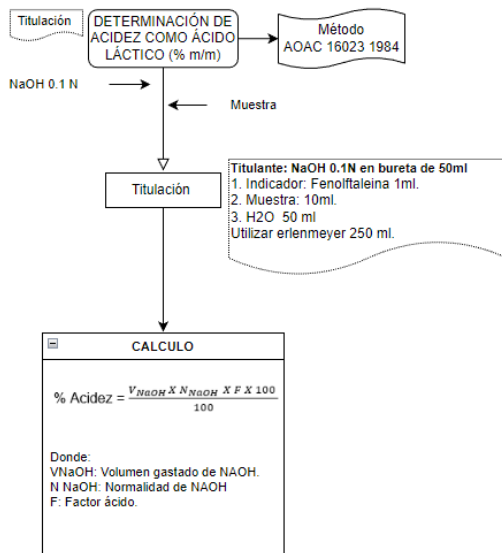
La acidez se mide por titulación y corresponde a la cantidad de hidróxido de sodio utilizado para neutralizar los grupos ácidos, el procedimiento se muestra en la Figura 4.

Insumos/materiales

Erlenmeyer 250 ml; bureta 50ml; agua destilada; fenolftaleína; agitador.

Figura 4.

Diagrama de flujo para la determinación de acidez como ácido láctico.



Nota: Se muestra el procedimiento para la titulación de ácido láctico, según el método AOAC 16023 1984
Fuente: Elaboración propia con datos de (Torres y Gómez, 2019, p.5)

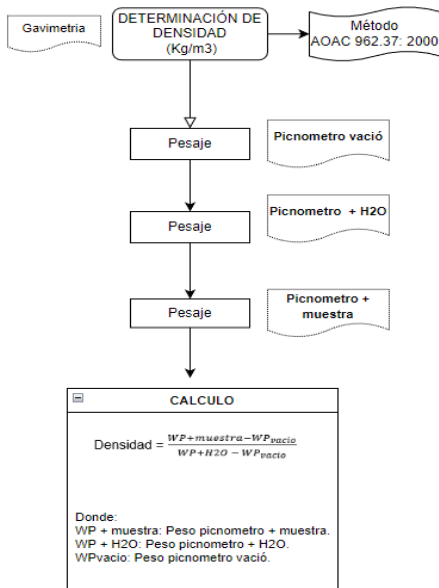
Determinación de densidad (kg/m³)

Para determinar la densidad de un líquido utilizando el método del picnómetro, solo se necesita la masa de este en tres casos diferentes. Todas las masas deben determinarse en una balanza analítica, el procedimiento se muestra en la Figura 5.

Materiales: Picnómetro

Figura 5.

Diagrama de flujo para la determinación de densidad (kg/m^3)

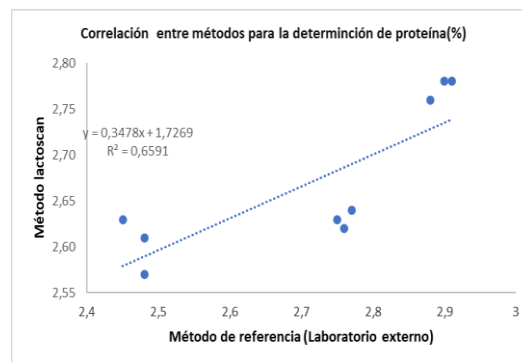


Nota: Se muestra el procedimiento para la determinación de densidad, según método AOAC 962.37:2000. La densidad está dada por $d = m/v$, el cálculo del resultado será en g/ml, por lo tanto, se debe hacer una conversión para que este sea en (kg/m^3), donde $1\text{g} = 0.001\text{kg}$ y $1\text{ml} = 1 \times 10^{-6}\text{m}^3$. Fuente: Elaboración propia con datos de (Escalada et. al. 2021, p.47)

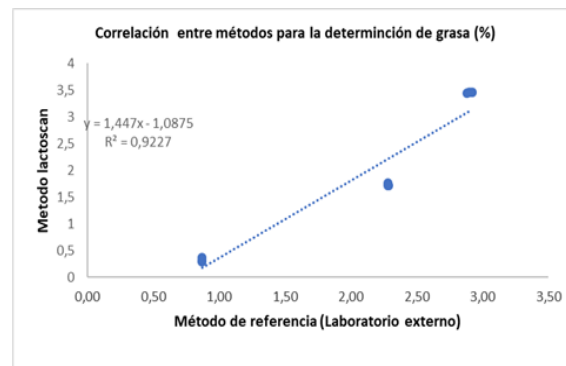
Apéndice C

Determinaciones estadísticas para la fase I: comparación de métodos

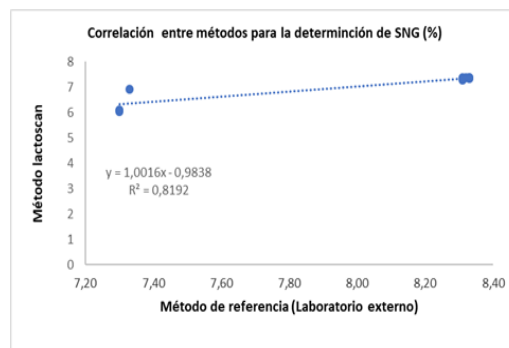
Fecha	Proteína (%m/m)		
	Ensayo	Método de referencia	Método Lactoscan
1	R1	2,45	2,63
	R2	2,48	2,57
	R3	2,48	2,61
2	R1	2,76	2,62
	R2	2,77	2,64
	R3	2,75	2,63
3	R1	2,90	2,78
	R2	2,88	2,76
	R3	2,91	2,78
Media		2,7540	2,7533
Des. Estándar		0,0810	0,1891
E _{det}		0,0007	
% E _{det}		0,025	
Fc		0,02	
Ft		4,747	
Valor p (α=0,05)		0,89	
pendiente de la recta		0,3478	
ordenada al origen		1,7269	
Coeficiente de determinación		0,6591	
Coeficiente de correlación		0,8119	



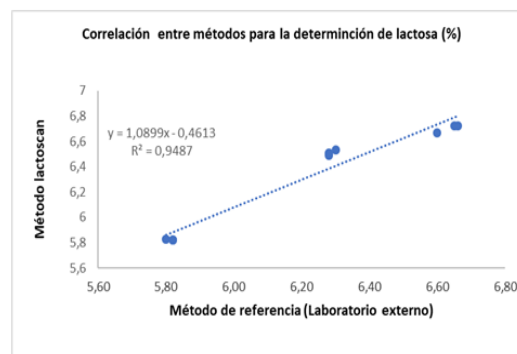
Fecha	Grasa (%m/m)		
	Ensayo	Método de referencia	Método Lactoscan
1	R1	2,88	3,44
	R2	2,92	3,46
	R3	2,90	3,45
2	R1	0,87	0,36
	R2	0,87	0,31
	R3	0,87	0,29
3	R1	2,28	1,76
	R2	2,29	1,71
	R3	2,28	1,71
Media		2,3820	2,0177
Des. Estándar		1,3578	0,9014
E _{det}		0,3643	
% E _{det}		18,055	
Fc		3,869	
Ft		4,747	
Valor p (α=0,05)		0,052	
pendiente de la recta		1,447	
ordenada al origen		1,0875	
Coeficiente de determinación		0,9227	
Coeficiente de correlación		0,9605	



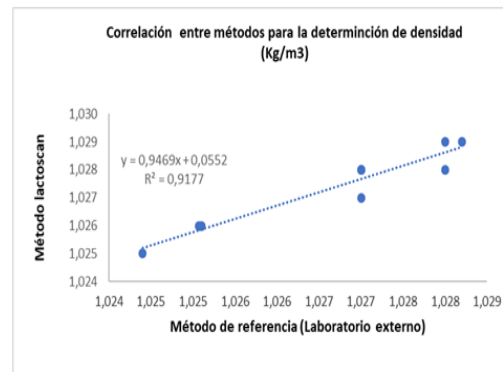
Fecha	SNG (%)		
	Ensayo	Método de referencia	Método Lactoscan
1	R1	7,33	6,91
	R2	7,30	6,08
	R3	7,30	6,04
2	R1	8,31	7,29
	R2	8,32	7,36
	R3	8,31	7,36
3	R1	8,33	7,37
	R2	8,33	7,33
	R3	8,33	7,38
Media		7,993	7,984
Des. Estándar		0,5599	0,5060
E _{det}		0,0089	
% E _{det}		0,111	
Fc		0,01	
Ft		4,747	
Valor p (α=0,05)		0,921	
pendiente de la recta		1,0016	
ordenada al origen		0,9838	
Coeficiente de determinación		0,8192	
Coeficiente de correlación		0,9605	



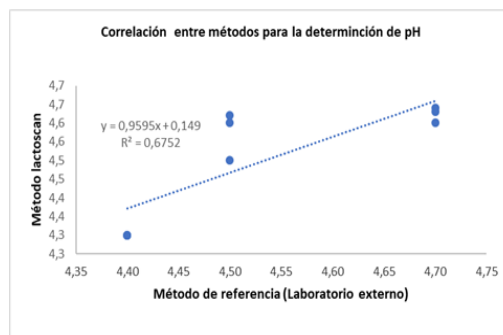
Fecha	Lactosa (% m/m)		
	Ensayo	Método de referencia	Método Lactoscan
1	R1	6,60	6,67
	R2	6,66	6,72
	R3	6,65	6,72
2	R1	5,82	5,82
	R2	5,80	5,83
	R3	5,82	5,82
3	R1	6,30	6,53
	R2	6,28	6,49
	R3	6,28	6,51
Media		6,3456	6,2456
Des. Estándar		0,4009	0,3583
E _{det}		0,1000	
% E _{det}		1,601	
Fc		3,088	
Ft		4,747	
Valor p (α=0,05)		0,0596	
pendiente de la recta		1,0899	
ordenada al origen		0,4613	
Coeficiente de determinación		0,9487	
Coeficiente de correlación		0,9740	



Fecha	Densidad (Kg/m3)		
	Ensayo	Método de referencia	Método Lactoscan
1	R1	1,024	1,025
	R2	1,025	1,026
	R3	1,025	1,026
2	R1	1,027	1,027
	R2	1,027	1,028
	R3	1,027	1,028
3	R1	1,028	1,028
	R2	1,028	1,029
	R3	1,028	1,029
Media		1,027	1,027
Des. Estándar		0,0014	0,0014
E _{det}		0,0007	
% E _{det}		0,067	
Fc		0,041	
Ft		4,747	
Valor p (α=0,05)		0,8434	
pendiente de la recta		0,9469	
ordenada al origen		0,0552	
Coeficiente de determinación		0,9177	
Coeficiente de correlación		0,9580	



Fecha	pH		
	Ensayo	Método de referencia	Método Lactoscan
1	R1	4,50	4,6
	R2	4,50	4,6
	R3	4,50	4,5
2	R1	4,40	4,3
	R2	4,40	4,3
	R3	4,40	4,3
3	R1	4,70	4,6
	R2	4,70	4,6
	R3	4,70	4,6
Media		4,53	4,60
Des. Estándar		0,1545	0,1323
E _{det}		-0,0658	
% E _{det}		-1,431	
Fc		3,720	
Ft		4,747	
Valor p (α=0,05)		0,0536	
pendiente de la recta		0,9595	
ordenada al origen		0,149	
Coeficiente de determinación		0,6752	
Coeficiente de correlación		0,8217	



Apéndice D

Resumen estadísticos prueba F y valor p , Fase I

Anova % proteína

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	p-valor
Laboratorio	0.00001	1	0.00001	0.020	0.890
Fecha	0.13367	2	0.13367	476.455	2×10^{-16}
Orden de medida	0.00031	2	0.00016	0.554	0.588
Residuales	0.00337	12	0.00028		

Anova % Grasa

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	p-valor
Laboratorio	0.598	1	0.598	3.869	0.0522
Fecha	20.027	2	10.013	98.330	3.62×10^{-8}
Orden de medida	0.001	2	0.000	0.003	0.9966
Residuales	1.222	12	0.102		

Anova % SNG

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	p-valor
Laboratorio	0.000	1	0.0004	0.010	0.921
Fecha	4.068	2	2.0341	59.078	6.14×10^{-7}
Orden de medida	0.075	2	0.0374	1.085	0.369
Residuales	0.413	12	0.0344		

Anova % Lactosa

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	p-valor
Laboratorio	1.620	1	1.620	3.088	0.0596
Fecha	4.018	2	2.009	7.549	0.00754
Orden de medida	0.001	2	0.0003	0.001	0.9989
Residuales	3.193	12	0.2661		

Anova densidad (kg/m^3)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	p-valor
Laboratorio	3.3×10^{-8}	1	3.3×10^{-8}	0.041	0.8434
Fecha	1.67×10^{-5}	2	8.367×10^{-6}	10.319	0.0024
Orden de medida	1.35×10^{-7}	2	6.8×10^{-8}	0.083	0.9205
Residuales	9.72×10^{-6}	12	8.11×10^{-7}		

Anova pH

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	p-valor
Laboratorio	0.0193	1	0.0193	3.720	0.0536
Fecha	0.2952	2	0.1476	51.292	1.32×10^{-6}
Orden de medida	0.0011	2	0.0005	0.199	0.8223
Residuales	0.03453	12	0.002		

Apéndice E

Resultados de la caracterización fisicoquímica de los lactosueros ácidos obtenidos por medio del equipo analizador de leches ultrasónico ref. lactoscan sp milkotronic, Fase II

Fecha de Muestreo: 7/04/2021

Empresa	Réplica	Proteína (%)	Grasa (%)	SNG (%)	Lactosa (%)	Densidad (Kg/m ³)	pH	Acidez (%)	Calcio (mg/100g)	Cenizas Totales (%m/m)
Emp1	Resultado 1	2,46	0,02	6,94	3,41	1,026	5,18	0,47	108	0,589
	Resultado 2	2,49	0,04	7,02	3,45	1,026	5,15	0,33	109	0,588
	Resultado 3	2,47	0,01	6,97	3,41	1,026	5,14	0,38	108	0,589
	promedio	2,47	0,02	6,98	3,42	1,026	5,2	0,4	108	0,589
Emp2	Resultado 1	2,48	0,65	6,82	3,65	1,026	3,39	1,5	84,9	0,564
	Resultado 2	2,55	0,67	7,02	3,75	1,027	3,43	1,39	84,88	0,568
	Resultado 3	2,54	0,61	7,000	3,72	1,027	3,38	1,31	84,9	0,564
	Promedio	2,52	0,64	7	3,71	1,026	3,40	1,39	84,89	0,565
Emp3	Resultado 1	2,65	0,81	7,27	3,95	1,027	5,25	0,44	125	0,63
	Resultado 2	2,66	0,78	7,27	3,94	1,028	5,01	0,67	125	0,61
	Resultado 3	2,65	0,78	7,29	3,94	1,028	4,98	0,50	125	0,64
	Promedio	2,65	0,79	7,28	3,94	1,027	5,1	0,54	125,00	0,63
Emp4	Resultado 1	2,37	0,13	6,65	3,32	1,024	4,88	0,58	118	0,567
	Resultado 2	2,4	0,07	6,75	3,34	1,025	4,9	0,58	118	0,568
	Resultado 3	2,4	0,05	6,75	3,33	1,025	4,9	0,54	118	0,567
	Promedio	2,39	0,08	6,72	3,33	1,025	4,9	0,57	118,00	0,567
Emp5	Resultado 1	2,47	0,52	6,84	3,6	1,026	4,9	0,54	144	0,46
	Resultado 2	2,52	0,49	6,98	3,65	1,026	4,88	0,85	143	0,45
	Resultado 3	2,52	0,47	6,98	3,64	1,026	4,92	0,47	145	0,48
	Promedio	2,50	0,49	7	3,63	1,026	4,9	0,62	144,00	0,46
Emp6	Resultado 1	2,41	0,06	6,79	3,35	1,025	5,12	0,42	111	0,588
	Resultado 2	2,42	0,02	6,84	3,35	1,026	4,99	0,53	114	0,588
	Resultado 3	2,4	0,000	6,78	3,31	1,025	5	0,61	109	0,588
	Promedio	2,41	0,03	6,80	3,34	1,025	5,0	0,52	111	0,588
Emp7	Resultado 1	2,41	0	6,82	3,32	1,025	5,37	0,57	126,3	0,588
	Resultado 2	2,46	0	6,97	3,37	1,026	5,33	0,49	127,73	0,590

	Resultado 3	2,46	0	6,97	3,36	1,026	5,3	0,54	124,99	0,589
	Promedio	2,44	0	7	3,35	1,026	5,3	0,53	126,3	0,589
Emp8	Resultado 1	2,38	0,42	6,6	3,43	1,025	6,55	0,43	84,8	0,599
	Resultado 2	2,41	0,41	6,69	3,47	1,025	6,07	0,60	84,8	0,466
	Resultado 3	2,41	0,38	6,69	3,46	1,025	6	0,44	84,8	0,549
	Promedio	2,40	0,40	7	3,45	1,025	6,2	0,49	84,80	0,538
Emp9	Resultado 1	2,45	3,44	6,91	4,59	1,024	4,62	0,57	204	0,655
	Resultado 2	2,48	3,46	6,08	4,64	1,025	4,6	0,81	204	0,65
	Resultado 3	2,48	3,45	6,04	4,64	1,025	4,5	0,72	204	0,659
	Promedio	2,47	3,45	6,34	4,62	1,025	4,6	0,70	204,00	0,655

Fecha de Muestreo: 21/04/2021

Empresa	Réplica	Proteína (%)	grasa (%)	SNG (%)	Lactosa (%)	Densidad (Kg/m ³)	pH	Acidez (%)	Calcio (mg/100g)	Cenizas Totales (%m/m)
Emp1	Resultado 1	2,57	0	7,24	3,54	1,026	5,28	0,48	109	0,588
	Resultado 2	2,56	0,03	7,22	3,54	1,027	5,32	0,48	109	0,588
	Resultado 3	2,56	0,05	7,21	3,55	1,027	5,32	0,55	109	0,588
	Promedio	2,56	0,03	7,22	3,54	1,027	5,31	0,50	109,0	0,588
Emp2	Resultado 1	2,71	0	7,76	3,61	1,028	4,55	0,77	84,88	0,565
	Resultado 2	2,64	0	7,56	3,51	1,028	4,51	0,79	84,88	0,572
	Resultado 3	2,72	0	7,79	3,61	1,029	4,54	0,82	84,88	0,562
	Promedio	2,69	0	7,70	3,58	1,028	4,53	0,79	84,88	0,566
Emp3	Resultado 1	2,60	0,52	7,19	3,77	1,026	4,8	0,7	125	0,613
	Resultado 2	2,62	0,49	7,28	3,79	1,027	4,75	0,75	126	0,633
	Resultado 3	2,63	0,51	7,29	3,81	1,027	4,74	0,74	125	0,632
	Promedio	2,62	0,51	7,25	3,79	1,027	4,76	0,73	125	0,626
Emp4	Resultado 1	2,37	0,43	6,56	3,42	1,024	5,41	0,37	118	0,564
	Resultado 2	2,45	0,36	6,83	3,51	1,025	5,3	0,55	117	0,568
	Resultado 3	2,46	0,35	6,85	3,52	1,025	5,27	0,46	118	0,568
	Promedio	2,43	0,38	6,75	3,48	1,025	5,33	0,5	118	0,567
Emp5	Resultado 1	2,57	0,76	7,06	3,82	1,026	4,77	0,59	145	0,470

	Resultado 2	2,63	0,77	7,21	3,89	1,027	4,79	0,63	145	0,470
	Resultado 3	2,63	0,76	7,23	3,9	1,027	4,81	0,56	145	0,480
	Promedio	2,61	0,76	7,17	3,87	1,027	4,79	0,6	145,0	0,47
Emp6	Resultado 1	2,50	0	7,07	3,46	1,026	5,13	0,26	114	0,588
	Resultado 2	2,52	0	7,14	3,47	1,026	5,19	0,25	114	0,578
	Resultado 3	2,52	0	7,13	3,46	1,026	5,19	0,25	114	0,588
	Promedio	2,51	0	7,11	3,5	1,026	5,17	0,25	114,00	0,58
Emp7	Resultado 1	2,37	0,15	6,64	3,32	1,025	4,81	0,30	127,73	0,591
	Resultado 2	2,41	0,13	6,78	3,37	1,025	4,63	0,29	127,73	0,588
	Resultado 3	2,41	0,10	6,78	3,37	1,025	4,64	0,30	127,73	0,590
	Promedio	2,40	0,13	6,73	3,35	1,025	4,7	0,30	127,73	0,590
Emp8	Resultado 1	2,55	0,09	7,17	3,55	1,026	5,85	0,16	84,8	0,546
	Resultado 2	2,58	0,05	7,27	3,58	1,027	5,86	0,17	85,1	0,556
	Resultado 3	2,59	0,05	7,29	3,59	1,027	5,86	0,17	84,8	0,466
	Promedio	2,57	0,06	7,24	3,57	1,027	5,86	0,17	84,90	0,523
Emp9	Resultado 1	2,62	3,3	7,29	3,74	1,027	4,28	0,42	204	0,659
	Resultado 2	2,64	3,2	7,36	3,75	1,027	4,29	0,43	200	0,642
	Resultado 3	2,63	3,45	7,36	3,74	1,027	4,34	0,46	204	0,659
	Promedio	2,63	3,32	7,34	3,74	1,027	4,30	0,44	203	0,653

Fecha de Muestreo: 12/05/2021

Empresa	Réplica	Proteína (%)	grasa (%)	SNG (%)	Lactosa (%)	Densidad (Kg/m ³)	pH	Acidez (%)	Calcio (mg/100g)	Cenizas Totales (%m/m)
Emp1	Resultado 1	2,58	0,09	7,27	3,60	1,027	5,15	0,29	107	0,589
	Resultado 2	2,58	0,08	7,26	3,59	1,027	5,20	0,29	109	0,590
	Resultado 3	2,58	0,07	7,27	3,59	1,027	5,21	0,29	108	0,589
	Promedio	2,58	0,08	7,27	3,59	1,027	5,19	0,29	108,00	0,589
Emp2	Resultado 1	2,5	0	7,06	3,45	1,026	5,16	0,33	84,9	0,564
	Resultado 2	2,44	0	6,91	3,36	1,025	5,18	0,33	84,63	0,561
	Resultado 3	2,51	0	7,09	3,44	1,026	5,23	0,34	84,98	0,564
	Promedio	2,48	0	7,02	3,42	1,026	5,19	0,33	84,84	0,563

Emp3	Resultado 1	2,68	0,64	7,39	3,92	1,027	4,63	0,47	127	0,680
	Resultado 2	2,62	0,57	7,23	3,81	1,027	4,64	0,48	127	0,620
	Resultado 3	2,68	0,59	7,40	3,91	1,027	4,68	0,49	127	0,610
	Promedio	2,66	0,60	7,34	3,88	1,027	4,65	0,48	127	0,637
Emp4	Resultado 1	2,43	0,22	6,80	3,43	1,025	5,76	0,28	118	0,568
	Resultado 2	2,44	0,21	6,84	3,44	1,025	5,32	0,29	122	0,567
	Resultado 3	2,45	0,20	6,86	3,45	1,025	5,08	0,29	115	0,569
	Promedio	2,44	0,21	6,83	3,44	1,025	5,39	0,29	118,33	0,568
Emp5	Resultado 1	2,53	0,20	7,10	3,57	1,026	4,90	0,35	143	0,46
	Resultado 2	2,53	0,17	7,11	3,56	1,026	4,88	0,34	143	0,49
	Resultado 3	2,50	0,14	7,04	3,51	1,026	4,88	0,35	143	0,48
	Promedio	2,52	0,17	7,08	3,55	1,026	4,89	0,35	143,00	0,48
Emp6	Resultado 1	2,52	0,56	6,97	3,68	1,029	4,49	0,45	114	0,588
	Resultado 2	2,49	0,52	6,90	3,63	1,026	4,53	0,46	114	0,569
	Resultado 3	2,52	0,21	6,97	3,66	1,026	4,53	0,47	114	0,593
	Promedio	2,51	0,43	6,95	3,66	1,027	4,52	0,46	114	0,583
Emp7	Resultado 1	2,34	0,25	6,54	3,32	1,024	5,88	0,30	127,73	0,579
	Resultado 2	2,3	0,22	6,44	3,26	1,024	5,46	0,30	126,02	0,590
	Resultado 3	2,37	0,22	6,63	3,35	1,025	5,22	0,30	125,73	0,591
	Promedio	2,34	0,23	6,54	3,31	1,024	5,52	0,30	126,49	0,587
Emp8	Resultado 1	2,56	0,23	7,17	3,62	1,026	5,43	0,28	84,8	0,558
	Resultado 2	2,59	0,23	7,25	3,66	1,027	5,49	0,26	84,8	0,519
	Resultado 3	2,60	0,21	7,28	3,67	1,027	5,50	0,27	84,8	0,529
	Promedio	2,58	0,22	7,23	3,65	1,027	5,47	0,27	84,8	0,535
Emp9	Resultado 1	2,78	3,44	7,37	4,45	1,028	4,60	0,43	204	0,629
	Resultado 2	2,76	3,46	7,33	4,41	1,028	4,64	0,43	205	0,662
	Resultado 3	2,78	3,45	7,38	4,43	1,028	4,63	0,43	204	0,659
	Promedio	2,77	3,45	7,36	4,43	1,028	4,62	0,43	204	0,650

Estadísticos ANOVA fase II.

Proteína (%m/m)					
	Dia 0	Dia 15	Dia 30	Promedio Total	DESVEST
Empresa 1	2,47	2,56	2,58	2,54	0,1
Empresa 2	2,52	2,69	2,48	2,57	0,1
Empresa 3	2,65	2,62	2,66	2,64	0,02
Empresa 4	2,39	2,43	2,44	2,42	0,03
Empresa 5	2,50	2,61	2,52	2,54	0,1
Empresa 6	2,41	2,51	2,51	2,48	0,1
Empresa 7	2,44	2,40	2,34	2,39	0,1
Empresa 8	2,40	2,57	2,58	2,52	0,1
Empresa 9	2,47	2,63	2,77	2,62	0,2

Grasa(%m/m)					
	Dia 0	Dia 15	Dia 30	Promedio Total	DESVEST
Empresa 1	0,02	0,03	0,08	0,04	0,03
Empresa 2	0,64	0,00	0,00	0,21	0,4
Empresa 3	0,79	0,51	0,60	0,63	0,1
Empresa 4	0,08	0,38	0,21	0,22	0,1
Empresa 5	0,49	0,76	0,17	0,48	0,3
Empresa 6	0,03	0,00	0,43	0,15	0,2
Empresa 7	0,00	0,13	0,23	0,12	0,1
Empresa 8	0,40	0,06	0,22	0,23	0,2
Empresa 9	3,45	3,32	3,45	3,41	0,1

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ₀	p-valor
Empresa	0.1691	8	0.0211	4.189	0.0071
Fecha	0.0373	2	0.0186	3.704	0.0476
Residuales	0.0807	16	0.005		

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ₀	p-valor
Empresa	7.364	8	0.9206	20.593	4.87x10 ⁻⁷
Fecha	0.023	2	0.0114	0.0255	0.778
Residuales	0.715	16	0.0447		

Sólidos no grasos (%m/m)					
	Dia 0	Dia 15	Dia 30	Promedio Total	DESVEST
Empresa 1	6,98	7,22	7,27	7,16	0,2
Empresa 2	7,00	7,70	7,02	7,24	0,4
Empresa 3	7,28	7,25	7,34	7,29	0,04
Empresa 4	6,72	6,75	6,83	6,77	0,06
Empresa 5	7,00	7,17	7,08	7,08	0,1
Empresa 6	6,80	7,11	6,95	6,95	0,2
Empresa 7	7,00	6,73	6,54	6,76	0,2
Empresa 8	7,00	7,24	7,23	7,16	0,1
Empresa 9	6,34	7,34	7,36	7,01	0,6

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	p-valor
Empresa	0.8834	8	0.11042	2.882	0.0134
Fecha	0.3242	2	0.16211	2.763	0.0931
Residuales	0.9386	16	0.05866		

Lactosa (%m/m)					
	Dia 0	Dia 15	Dia 30	Promedio Total	DESVEST
Empresa 1	3,42	3,54	3,59	3,52	0,1
Empresa 2	3,71	3,58	3,42	3,57	0,1
Empresa 3	3,94	3,79	3,88	3,87	0,1
Empresa 4	3,33	3,48	3,44	3,42	0,1
Empresa 5	3,63	3,87	3,55	3,68	0,2
Empresa 6	3,34	3,5	3,66	3,49	0,2
Empresa 7	3,35	3,35	3,31	3,34	0,02
Empresa 8	3,45	3,57	3,65	3,56	0,1
Empresa 9	4,62	3,74	4,43	4,27	0,5

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	p-valor
Empresa	1.8949	8	0.2368	6.089	0.0011
Fecha	0.0154	2	0.0077	0.198	0.8221
Residuales	0.6224	16	0.0389		

Densidad kg/m ³					
	Dia 0	Dia 15	Dia 30	Promedio Total	DESVEST
Empresa 1	1,026	1,027	1,027	1,026	0,0
Empresa 2	1,026	1,028	1,026	1,027	0,0
Empresa 3	1,027	1,027	1,027	1,027	0,0
Empresa 4	1,025	1,025	1,025	1,025	0,0
Empresa 5	1,026	1,027	1,026	1,026	0,0
Empresa 6	1,025	1,026	1,027	1,026	0,0
Empresa 7	1,026	1,025	1,024	1,025	0,0
Empresa 8	1,025	1,027	1,027	1,026	0,0
Empresa 9	1,025	1,027	1,028	1,027	0,0

pH					
	Dia 0	Dia 15	Dia 30	Promedio Total	DESVEST
Empresa 1	5,2	5,3	5,19	5,22	0,1
Empresa 2	3,4	4,5	5,19	4,37	0,9
Empresa 3	5,1	4,8	4,65	4,83	0,2
Empresa 4	4,9	5,3	5,39	5,20	0,3
Empresa 5	4,9	4,8	4,89	4,86	0,1
Empresa 6	5,0	5,2	4,52	4,91	0,3
Empresa 7	5,3	4,7	5,52	5,18	0,4
Empresa 8	6,2	5,9	5,47	5,85	0,4
Empresa 9	4,6	4,3	4,62	4,50	0,2

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ₀	p-valor
Empresa	1.27x10 ⁻⁵	8	1.59x10 ⁻⁶	2.219	0.0832
Fecha	3.85x10 ⁻⁶	2	1.92x10 ⁻⁶	2.684	0.0988
Residuales	1.14x10 ⁻⁵	16	7.17x10 ⁻⁷		

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ₀	p-valor
Empresa	4.653	8	0.5816	3.363	0.0186
Fecha	0.033	2	0.0167	0.096	0.9086
Residuales	2.767	16	0.1729		

Acidez como ácido láctico % m/m					
	Día 0	Día 15	Día 30	Promedio Total	DESVEST
Empresa 1	0,4	0,50	0,29	0,40	0,1
Empresa 2	1,39	0,79	0,33	0,84	0,5
Empresa 3	0,54	0,73	0,48	0,58	0,1
Empresa 4	0,57	0,5	0,29	0,44	0,1
Empresa 5	0,62	0,6	0,35	0,52	0,2
Empresa 6	0,52	0,25	0,46	0,41	0,1
Empresa 7	0,53	0,30	0,30	0,38	0,14
Empresa 8	0,49	0,17	0,27	0,31	0,2
Empresa 9	0,70	0,44	0,43	0,52	0,2

Calcio (mg/100g)					
	Día 0	Día 15	Día 30	Promedio Total	DESVEST
Empresa 1	108,0	108,0	108,0	108,0	0,2
Empresa 2	84,9	84,9	84,9	85	0,4
Empresa 3	125,0	125,0	127,0	126	0,0
Empresa 4	118,0	118,0	118,0	118,0	0,1
Empresa 5	144,0	145,0	143,0	144,0	0,1
Empresa 6	111,0	114,0	114,0	113,0	0,2
Empresa 7	126,3	127,0	126,3	127	0,2
Empresa 8	84,8	84,8	84,8	84,8	0,3
Empresa 9	204,0	203,0	204,0	203,7	0,6

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	p-valor
Empresa	0.5531	8	0.06913	2.960	0.0486
Fecha	0.3523	2	0.17614	5.759	0.0131
Residuales	0.4894	16	0.03059		

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	p-valor
Empresa	30612	8	3827	5486.451	2×10^{-16}
Fecha	2	2	1	1.505	0.252
Residuales	11	16	1		

Cenizas Totales (%m/m)					
	Dia 0	Dia 15	Dia 30	Promedio Total	DESVEST
Empresa 1	0,589	0,588	0,589	0,59	0,00
Empresa 2	0,565	0,566	0,563	0,56	0,0
Empresa 3	0,627	0,626	0,637	0,63	0,01
Empresa 4	0,567	0,567	0,568	0,57	0,00
Empresa 5	0,462	0,473	0,477	0,47	0,01
Empresa 6	0,588	0,585	0,583	0,59	0,00
Empresa 7	0,589	0,590	0,587	0,59	0,00
Empresa 8	0,538	0,523	0,535	0,53	0,01
Empresa 9	0,655	0,653	0,650	0,65	0,00

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	p-valor
Empresa	0.068	8	0.0085	347.283	2×10^{-16}
Fecha	0.00003	2	0.000016	0.655	0.533
Residuales	0.00039	16	0.000024		

Apéndice F

Pruebas de calidad de la leche en planta

Pruebas de Calidad Leche en la Planta		Norma Técnica
Pruebas de Plataforma	Descripción	
Determinación de alcohol	<p>Materiales: Alcohol etílico al 68% Pipetas graduadas de 2 o 5 ml Tubos de ensayo Gradilla Muestra de leche</p> <p>La prueba es positiva si se observa partículas de cuajada en la pared del tubo de ensayo, esta leche no podrá ser esterilizada.</p>	Decreto 616/2006
Refractometría	<p>Procedimiento: Determinar la temperatura a una muestra de leche y ajustar la temperatura de calibración del refractómetro Llevar dos o tres gotas de leche al prisma del refractómetro Realizar la lectura del índice de refractómetro Realizar la lectura del índice de refracción Reportar resultados Valor teórico: 8,4 SNG, se expresa en °Brix</p>	Decreto 616/2006
Determinación de temperatura	<p>Procedimiento: Tomar 50 ml de la leche en un vaso de precipitado a una temperatura dada. Colocar un termómetro en la muestra y anotar la lectura. Calibrar el potenciómetro e introducir el electrodo en la muestra.</p>	Decreto 616/2006
Determinación de pH	<p>Se realiza la medición del pH usando un potenciómetro previamente calibrado que se basa en la medición electrofítica de la actividad de los iones hidrógenos presentes en una muestra Leche fresca pH: 6.6 – 6.8</p>	NTC 399
Determinación de neutralizante	<p>Procedimiento: En un tubo de ensayo colocar 2 ml de leche bien mezclada, agregar 3 ml de la solución de alizarina (Se prepara 0.5 g. De alizarina en 1000 ml de alcohol a 75 G) y mezclar bien; observar el color. Interpretación de resultados. Coloración roja negativa, coloración rojo-violeta positivo.</p>	NTC 399
Determinación de peróxido	<p>Procedimiento: En un tubo de ensayo colocar 10 ml de muestra, agregar 10m a 20 gotas del reactivo preparado así: (Reactivo: Solución de pentóxido de vanadio al 1% m/v en ácido sulfúrico diluido. El ácido sulfúrico diluido se prepara agregando cuidadosamente 6 ml de ácido sulfúrico (95-98% de pureza) a 94 ml de agua). Observar el color: Interpretación de resultados. La aparición de un color curuba (salmón) indica la presencia de agua oxigenada. Una coloración amarillenta igual al reactivo negativo.</p>	AOAC 47.3.22
Determinación de almidón	<p>Procedimiento: Colocar en tubo de ensayo 5 ml de muestra de leche, hervir, enfriar en agua con hielo y agregar 5 gotas de Lugol. Interpretación de resultados. Positivo: color azul, indica la presencia de almidones o harinas. Negativo: color amarillento.</p>	NTC 399
Determinación de densidad	<p>Determinación: Por el Termo lactodensímetro, debe estar en un rango entre 1,030 gramos/ml 1,033 gramos/ml. Temperatura 15°C corrección +/- 0.2</p>	AOAC 33.2.03
Determinación de acidez	<p>Procedimiento: Tomar 9 ml de leche cruda y colocarlos en un vaso de precipitado de 100 ml. Adicionar de 3 a 4 gotas de fenolftaleína Titular con hidróxido de sodio al 0.1N, suspender la adición de hidróxido de hasta que se presente una coloración rosa, anotar el gasto Realizar la misma determinación para la leche pasteurizada Hacer los cálculos de acuerdo con la siguiente ecuación:</p> $\frac{(Ax B x C)}{D} \frac{(Ax B x C)}{D} \quad (100)$ <p>acidez (como Ac. Láctico) = Leche fresca: 15°-18°Dornic</p>	NTC 4978 de 2001

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice G

Ficha técnica del cultivo Yomix 205

 <p>Insumos y tecnología para la industria alimentaria</p>	<p>FICHA TECNICA YOMIX 205 LYO 250 DCU</p>	CI - 260 / 02
		Versión 001
		Página 1 de 4
		Fecha de Emisión: 18-04-13
<h3>DANISCO</h3>		
<p>Descripción</p> <p>Mezcla de cepas definidas de bacterias lácticas para inoculación directa en la leche, bases lácteas y otras aplicaciones alimenticias.</p> <p>Cultivo liofilizado</p>		
<p>Áreas de aplicación</p> <p>Leches fermentadas probióticas.</p>		
<p>Beneficios</p> <p>Provee bacterias probióticas como aporte en leches fermentadas. Excelente aroma.</p>		
<p>Dosis</p> <p>Leche fermentada 15 - 25 DCU /100 l de leche</p> <p>Las cantidades de inoculación indicadas deben ser consideradas como orientativas.</p>		
<p>Instrucciones de uso</p> <p>Antes de la apertura desinfectar el sobre con agua esterilizada o con otro producto apropiado (en caso necesario secar con una servilleta de papel). Una vez el sobre abierto, añadir el cultivo directamente en la mezcla pasteurizada. Agitar durante aproximadamente 30 minutos a baja velocidad. Temperatura de incubación aconsejada: 35-45°C (95-113°F), dependiendo del tiempo fijado deseado por el productor. Las temperaturas ambiente pueden reducir el desempeño adecuado del cultivo.</p>		
<p>Composición</p> <p>Streptococcus thermophilus Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus Lactobacillus acidophilus Bifidobacterium lactis</p>		

Apéndice H

Ecuaciones requeridas para el balance de energía

Ecuación: $\Delta E = Q - W...$ [11],

Donde;

ΔE representa la variación de energía,

Q la transmisión de calor en (1 watt = 1 julio /segundo)

W es la potencia.

Ecuación $Q = \Delta U + W...$ [12]; relaciona la primera ley de la termodinámica para sistema cerrados donde (ΔU) representa un cambio de energía interna que describe la relación entre el trabajo y el calor. La ecuación [12], queda reducida a la ecuación $Q = \Delta U...$ [13] representada en la ecuación $Q = m * C_p * \Delta T...$ [14] (Carlos, Jiménez, Tecnológico, y Rica, 2018), donde;

Q = transmisión de calor en W (1 watt = 1 julio /segundo),

m = masa que fluye en Kg/s

ΔT = diferencia de temperatura en el producto en grados centígrados

C_p = calor específico del producto a calentar, en julio /kg °c.

Apéndice I

Maquinaria y equipo requeridos en la elaboración de la bebida láctea fermentada a bade lactosuero ácido

Máquina / Equipo	Consumo promedio energía/hora	Cantidad (unidad)	Costo de valor (\$)
Tanque de enfriamiento	1. kW/h	2	\$18.000000 + IVA
Bomba descargue de leche	250kw/h	1	\$ 3.456000 + IVA
Descremadora	0.25kw/h	1	\$ 9.023042 + IVA
Tanque de almacenamiento para el suero con tapa.	0.5kw/h	1	\$ 4.000000 + IVA
Tanque fermentador	21kw/h	2	\$ 107.476040 + IVA
Marmita	A vapor	1	\$2.990000 + IVA
Envasadora o llenadora	2.2kw/h	1	\$ 13.369500 sin IVA
Carro para transporte de cajas plásticas	-	1	\$190,000 + IVA
Canastilla plástica	-	50	\$897,500 + IVA
Refrigerador / Cuarto frio	50kw/h	1	\$ 15.000000 + IVA
Banco de Hielo	3.4kw/h	1	\$22.000000 + IVA
Caldera a vapor	0.44 Kw/h Gas propano 54 m3/hora	1	\$38.000000 + IVA
Balanza	1.0kw/h	1	\$ 267,630 + IVA
Estiba piso	-	10	\$ 250.000 + IVA

Nota: La maquinaria, el costo y el Consumo promedio energía/hora, fueron datos de investigación directamente con los proveedores por vía telefónica y correo electrónico. Fuente: Elaboración propia.

Apéndice J

Fichas técnicas de la maquinaria

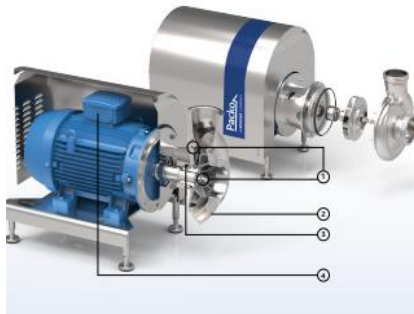
Ficha técnica de la bomba centrifugadora

Serie de bombas MFP3



Características

Las bombas Packo de la serie MFP3 se utilizan en las aplicaciones higiénicas más exigentes en casi todas las industrias, tales como lecherías, conserveras, sector de bebidas, desaladoras, etc. Estas fuertes bombas tienen carcasas de acero inoxidable 316L e impulsores de fundición con recubrimiento cerámico con 316L o materiales de doble calidad. Gracias a su diseño libre de fricción y al electroplado como tratamiento superficial final, las bombas de la serie MFP3 son el componente fiable ideal para su proceso de producción alimentaria.



Sus ventajas

- Alta eficiencia de la bomba dando como resultado un menor consumo de energía
- Bajos valores de NPSH: menor riesgo en cavitación
- Electroplado: fácil de limpiar
- Instalación y mantenimiento fáciles: menos tiempo de inactividad
- Uso de componentes estándar
- Fácil de instalar
- Construcción robusta

Áreas de aplicación

Estas fuertes bombas de proceso son la solución ideal para aplicaciones de filtración, pasteurización, sistemas de evaporación y propagación de levadura, así como para sistemas de limpieza CIP.

Las aplicaciones típicas incluyen filtración de cerveza, vino y zumos de frutas, así como el bombeo de levadura, suero de leche, CP y suajada.

Mayores capacidades de hasta 1800 m³/h disponibles en la gama industrial.



Serie de bombas	MFP3
Área de trabajo	
máx. caudal	1800 m ³ /h
máx. grado diferencial	75 m
presión de descarga máx.	12 bar
máx. viscosidad del fluido	500 cP
máx. temperatura	140°C
tipo de impulsor	cerámico con alfileres traseros y agujeros de equilibrado
máx. paso libre	27 mm
máx. potencia del motor	250 kW
máx. revoluciones	3000 RPM
frecuencia disponible	50/60 Hz
Especificaciones técnicas	
materiales de las partes en contacto con el medio	acero inoxidable 316L o similar
configuración de sello mecánico	sello: empujamiento, doble
materiales de junta tórica disponible	EPDM, NBR, PTFE, FKM, silicona
conexiones	aceros higiénicos
calidad de la superficie	calidad higiénica, soldaduras internas pulidas a mano + electroplado
certificados y legislación	

Ficha técnica descremadora

EQUIPOS ANDRITZ



INCLUYE TABLERO 220V 60HZ

DESCREMADORAS MARCA ANDRITZ LIMPIEZA MANUAL - CON EMBALAJE		
MODELO	LT/H	PRECIO NETO COP
CN10T	1000/1500	\$ 115.000.000
CN31T	3000/4500	\$ 185.000.000
CN50T	5000/7500	\$ 258.000.000

DESCREMADORAS MARCA ANDRITZ - LIMPIEZA AUTOMÁTICA - CON EMBALAJE		
MODELO	LT/H	PRECIO NETO COP
CA21T	2000/3000	\$ 220.000.000
CA41T	4000/6000	\$ 297.000.000
CA51T	5000/7500	\$ 315.000.000
CA71T	7500/11000	\$ 375.000.000
CA91T	1000/15000	\$ 406.000.000

DESBACTERIZADORA MARCA ANDRITZ CON EMBALAJE		
MODELO	3M/H	PRECIO NETO COP
CA41D	5M3/H	\$ 323.000.000
CA71D	10M3/H	\$ 411.000.000
CA141D	15M3/H	\$ 660.000.000
CA301D	30M3/H	\$ 1'425.000.000

Ficha técnica balanza analítica



Especificaciones Técnicas

Modelo	FENIX			
Capacidad	3000 g	6000 g	15 kg	30 kg
División	0.2 g	0.5 g	1 g	2 g
Escala de verificación	1 g	2 g	5 g	10 g
Carga mínima	4 g	10 g	20 g	40 g
Resolución	1/15.000	1/12.000	1/15.000	
Clase	III			
Unidades de medición	g, lb, % pcs		kg, lb, % pcs	
Interface	RS-232			
Tiempo estabilización	≈ 3 Segundo			
Temperatura operación	0°C - 40°C / 32°F - 104°F			
Fuente alimentación (adaptador)	110 Vac, 60Hz, 10 watts			
Batería	4 V, 4Ah, (50 horas de operación aprox)			
Calibración	Cero y span hasta 100%, por teclado			
Display	Display LCD, 6 dígitos de 20mm, con luz de respaldo led			
Carcasa	ABS alta resistencia			
Dimensiones del plato	210 x 270 mm			
Teclado	8 Teclas tipo pulsador			
Peso Bruto	3 kg			

Ficha técnica marmita

Marmita para cocina institucional (Modelos a vapor)

VALVULA DE SEGURIDAD

ENTRADA DE VAPOR (EV)

SALIDA DE CONDENSADO (SC)

CONEXION PARA VALVULA DE PURGA (CVP)

VALVULA PARA SALIDA DE ALIMENTOS (Ø8mm)*

SALIDA DE CONDENSADO (SC)

ENTRADA DE VAPOR (EV)

Acotación en mm.

* LA VALVULA PARA SALIDA DE ALIMENTOS ES OPCIONAL

MODELO	M80V	M110V	M140V	M190V	M250V	M320V	M400V	M625V
CAPACIDAD (LITROS)	80	110	160	190	250	320	400	625
A	570	626	700	750	820	924	968	1115
B	750	800	950	950	995	1100	1200	1310
C	990	1130	1230	1240	1320	1430	1580	1630
D	730	730	750	750	765	765	765	765
E	937	1030	1100	1100	1145	1170	1185	1230
CVP (CONEXION)	13	13	13	13	19	19	19	19
SC (CONEXION)	13	13	13	13	19	19	19	19
EV (CONEXION)	13	13	13	13	19	19	19	19

MODELO	M80VF	M110VF	M140VF	M190VF	M250VF	M320VF	M400VF	M625VF
CAPACIDAD (LITROS)	80	110	160	190	250	320	400	625
A	570	626	700	750	820	924	968	1115
B	660	716	765	840	910	990	1058	1205
C	910	930	1000	1010	1025	1100	1110	1200
SC (CONEXION)	13	13	13	13	19	19	19	19
EV (CONEXION)	13	13	13	13	19	19	19	19

Ficha Tecnica Cuarto Frio Portatil

CARACTERÍSTICAS	
USO	SIST. REFRIG Y COND
DIMENSIONES EXTERNAS	LARGO: 2,18 m ANCHO: 2,19 m ALTO: 2,40 m ESPESOR MOD. 3"/4"
EQUIPO FRIG.	MONOBLOCK XIRAF
COMPONENTES	<ul style="list-style-type: none"> COMPRESOR TECUMSEH ESTRUCTURA PISO CAVA PUERTA BAT 9,80" L80"8" LAMPARA LED 2"18 PANEL MODULAR ANTIBACTERIAL/PREPINTAD

REFERENCIAS	ESPECIFICACIONES
TIPO	BATERIA DE 400 X 400 X 110
MARCOS	7" 8 SECCIONES EXTERNAS EN ALUMINIO ANODIZADO PORTANTES DE LAS REVESTIDAS
	7" RESISTENCIA BLANCA 220V DE 30 W. POR CADA LITRO
PARTES	7" 8 SECCIONES INTERNAS EN PVC F POLIURETANO ALUCOCENTOS PARA UNIR LA PUERTA INTERAMENTE
	7" 8 LAMPARA LED 2"18
MESA	7" 8 LAMPARA LED 2"18
	7" 8 LAMPARA LED 2"18
ACCESORIOS	7" 8 BATERIA DE 400 X 400 X 110

Apéndice K

Normatividad que aplica a las empresas procesadoras de bebidas lácteas fermentadas

Normatividad	Ámbito de aplicación	Referencia con el proyecto
<u>RESOLUCIÓN 017/ 2012</u> "Sistema de pago de la leche cruda al proveedor"	Pago de la leche cruda al productor	calidad de la materia prima.
<u>DECRETO 616/2016</u> "Requisitos que debe cumplir la leche para el consumo "	Materia prima la leche	calidad de la materia prima.
<u>DECRETO 60/2002</u> "Aplicación el sistema de análisis de peligros y puntos de control crítico -Haccp"	Fábricas de alimentos	certificación de la empresa
<u>DECRETO 1575/2015</u> "sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos"	uso en el procesamiento de la bebida	calidad del producto
<u>RESOLUCION 3168/2015</u> "obligatoriedad de la notificación sanitaria, permiso sanitario y registro sanitario".	fábricas de alimentos	calidad del producto – certificación de la empresa
<u>RESOLUCIÓN 2310/1986</u> "Referente a procesamiento, requisitos, transporte y comercialización de los derivados lácteos".	uso del lactosuero y requerimientos	calidad de la materia prima
<u>RESOLUCION 1031/2010</u> "Requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que deben cumplir los lactosueros".	lactosueros dulces y en polvo	calidad de la materia prima
<u>RESOLUCIÓN 2674/2013</u> "Para el proceso de elaboración del queso doble crema y obtención del lactosuero".	Fábricas y establecimientos donde se procesan los alimentos, los equipos y utensilios y el personal manipulador de alimentos, entre otras disposiciones.	calidad del producto en proceso
<u>RESOLUCION 5109/2005</u> "Rotulado general del producto".	Alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano.	calidad del producto terminado.
<u>RESOLUCIÓN 2508/2012.</u> "Requisitos que deben cumplir los alimentos envasados que contengan grasas trans y/o grasas saturadas".	Alimentos envasados	calidad del producto terminado
<u>RESOLUCIÓN 333/2011</u> "Requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano".	Materias primas e insumos	calidad de la materia prima.
<u>CODEX STAN 243-2003</u> "Norma del Codex".	Leches fermentadas concentradas y los productos lácteos compuestos basados en estos productos,	calidad del producto en proceso.
<u>NTC 4869</u> " Alimentos refrigerados y congelados, almacenamiento, transporte y distribución"	Comercialización de materias primas	Calidad de la materia prima.
<u>NTC 5583/2007</u> " Salsa de frutas".	Materia prima	Calidad de la materia prima - calidad del producto en proceso.
<u>ntc4706/1997</u> "Mora de castilla especificaciones".	Materia prima	Calidad de la materia prima
<u>ntc 1453/1978</u> "Aditivos para alimentos. sustancias para conservación de alimentos".	Materia prima	Calidad de la materia prima
<u>ntc 805/2005</u> "productos lácteos leches fermentadas".	Producto terminado.	Calidad del producto terminado.

Fuente: Elaboración propia.