



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN
DE JARABE DE SUERO A PARTIR DE RESIDUOS LÁCTEOS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar el grado académico de:
INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: LLERENA TOLEDO EVELYN
DIRECTORA: ING. MABEL MARIELA PARADA

Riobamba-Ecuador

2017

©2017, Evelyn Llerena Toledo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE JARABE DE SUERO A PARTIR DE RESIDUOS LÁCTEOS”**, de responsabilidad de la señorita Evelyn Llerena Toledo, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Ing. Mabel Mariela Parada Msc.

.....

**DIRECTORA DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Zoila Valeria Tapia Msc

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

“Yo, Evelyn Llerena Toledo, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

Evelyn Llerena Toledo

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo, Evelyn Llerena Toledo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 01 de noviembre de 2017

EVELYN LLERENA TOLEDO

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico con todo mi amor a mis padres y hermanas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba. Gracias por siempre creer en mí.

Evelyn Llerena

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por permitirme cumplir uno de mis más grandes sueños.

A mis padres Hernán Llerena y Mercedes Toledo detrás de este logro están ustedes con su apoyo incondicional, confianza y amor gracias por estar ahí siempre, que esta sea la recompensa a tantos años de dedicación, sacrificio y desvelos los amo con mi vida.

Nataly, Belén y Melanie de verdad soy tan feliz al tenerlas como mis hermanas gracias por acompañarme en este largo camino, por sus palabras de aliento y sobre todo por su gran amor.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xviii

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. Identificación del problema	1
1.2. Justificación del proyecto	2
1.2.1. Antecedentes de la Empresa	3
1.2.2. Marco conceptual	4
1.2.2.1. Generalidades de la leche	4
1.2.2.2. El queso como subproducto de la leche	5
1.2.2.3. Lactosuero como subproducto en la elaboración del queso	6
1.2.2.4. Composición del lactosuero	7
1.2.2.5. Muestreo del lactosuero	9
1.2.2.6. Caracterización del lactosuero.....	10
1.2.2.7. Aprovechamiento del lactosuero. Subproductos.	11
1.2.2.8. Jarabe de suero	13
1.2.2.9. Consideraciones medioambientales	13
1.2.2.10. Diseño.....	14
1.3. Beneficiarios directos e indirectos.....	19
1.3.1. Beneficiarios Directos	19
1.3.2. Beneficiarios Indirectos.....	19

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	21
2.1. Objetivo general	21
2.2. Objetivos específicos.....	21

CAPÍTULO III

3.	ESTUDIO TÉCNICO	22
3.1.	Localización del proyecto	22
3.2.	Ingeniería del proyecto	24
3.2.1.	<i>Tipo de estudio</i>	24
3.2.2.	<i>Toma de muestras para la materia prima</i>	24
3.2.3.	<i>Toma de muestras para el producto</i>	25
3.2.4.	<i>Métodos y Técnicas</i>	26
3.2.4.1.	<i>Métodos</i>	26
3.2.4.2.	<i>Técnicas</i>	28
3.2.5.	<i>Resultados de la caracterización del lactosuero como materia prima</i>	40
3.2.6.	<i>Selección de la materia prima</i>	42
3.2.7.	<i>Ensayos a nivel de laboratorio para la producción de jarabe de suero</i>	43
3.2.7.1.	<i>Materiales, reactivos e insumos</i>	43
3.2.7.2.	<i>Descripción del procedimiento a nivel de laboratorio</i>	44
3.2.8.	<i>Variables y parámetros del proceso para la producción de jarabe de suero</i>	50
3.2.8.1.	<i>Temperatura</i>	52
3.2.8.2.	<i>Tiempo de reacción</i>	52
3.2.8.3.	<i>pH</i>	53
3.2.8.4.	<i>Calidad y cantidad de sustrato</i>	53
3.2.8.5.	<i>Enzima</i>	53
3.2.9.	<i>Operaciones a nivel industrial para la producción de jarabe de suero</i>	54
3.2.9.1.	<i>Cálculos de ingeniería</i>	54
3.2.9.2.	<i>Cálculo para el dimensionamiento de la marmita</i>	54
3.2.9.3.	<i>Balance de energía</i>	57
3.2.10.	<i>Validación del proceso</i>	59
3.2.10.1.	<i>Pruebas de ensayo semindustrial</i>	59
3.2.10.2.	<i>Análisis nutricional del producto</i>	60
3.2.10.3.	<i>Análisis sensorial del producto</i>	63
3.2.10.4.	<i>Análisis de discriminación de la formulación</i>	63
3.3.	Proceso de producción	67

3.3.1.	<i>Materia prima, insumos, aditivos y reactivos</i>	67
3.3.2.	<i>Diagrama del proceso</i>	70
3.3.3.	<i>Descripción del proceso para la obtención del jarabe de suero</i>	71
3.3.4.	<i>Formulación de materia prima, reactivos e insumos a escala industrial</i>	72
3.3.5.	<i>Distribución y diseño de la planta</i>	73
3.3.5.1.	<i>Descripción de las áreas de la planta productora del jarabe de suero</i>	73
3.4.	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinarias	76
3.4.1.	<i>Equipos para el proceso</i>	76
3.4.1.1.	<i>Filtro</i>	77
3.4.1.2.	<i>Marmita</i>	77
3.4.1.3.	<i>Caldera</i>	78
3.4.1.4.	<i>Tanque de almacenamiento</i>	78
3.4.1.5.	<i>Envasadora y taponadora</i>	79
3.4.2.	<i>Equipos para controlar el proceso</i>	79
3.5.	Análisis de costo/beneficio del proyecto	81
3.5.1.	<i>Costo de la materia prima</i>	81
3.5.2.	<i>Costo de los equipos y análisis de laboratorio</i>	83
3.5.3.	<i>Costo de producción</i>	84
3.6.	Cronograma de ejecución del proyecto	86
	ANÁLISIS DE RESULTADOS	87
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIONES	90
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Composición del lactosuero dulce y ácido	8
Tabla 2-1:	Contenido en vitaminas del lactosuero	8
Tabla 1-3:	Localización de la industria láctea San José.....	23
Tabla 2-3:	Toma de muestras de la materia prima	24
Tabla 3-3:	Toma de muestras del lactosuero para la elaboración del jarabe.....	25
Tabla 4-3:	Requisitos fisicoquímicos del suero de leche líquido.....	27
Tabla 5-3:	Requisitos microbiológicos para el suero de leche líquido.....	28
Tabla 6-3:	Fundamentos de los análisis fisicoquímicos evaluados en el lactosuero	29
Tabla 7-3:	Fundamentos de los análisis microbiológicos evaluados en el lactosuero	36
Tabla 8-3:	Resultados de la caracterización fisicoquímica del lactosuero	40
Tabla 9-3:	Resultados de la caracterización microbiológica del lactosuero	41
Tabla 10-3:	Materiales, reactivos e insumos.....	43
Tabla 11-3:	Materiales, reactivos e insumos.....	50
Tabla 12-3:	Fases de Operación del proceso de producción del jarabe de suero	51
Tabla 13-3:	Resumen de parámetros calculados de diseño, balances de masa y energía	58
Tabla 14-3:	Resultados de la caracterización del producto de la hidrólisis (Suero hidrolizado)	60
Tabla 15-3:	Resultados de la caracterización del jarabe de suero.....	60
Tabla 16-3:	Propiedades del jarabe de glucosa comercializado en el Ecuador.....	61
Tabla 17-3:	Tabla de contingencia parámetro COLOR	64
Tabla 18-3:	Prueba de chi cuadrado para el parámetro COLOR	65
Tabla 19-3:	Tabla de contingencia parámetro CONSISTENCIA	65
Tabla 20-3:	Prueba de chi cuadrado para el parámetro CONSISTENCIA	66
Tabla 21-3:	Tabla de contingencia parámetro SABOR	66
Tabla 22-3:	Prueba de chi cuadrado para el parámetro SABOR.....	67
Tabla 23-3:	Componentes utilizados en la elaboración del jarabe de suero	67
Tabla 24-3:	Formulación para a producción de jarabe de suero a escala industrial.....	73
Tabla 25-3:	Distribución de producción por sabor del jarabe de suero.....	75
Tabla 26-3:	Equipos necesarios para la producción de jarabe de suero a partir de lactosuero	76
Tabla 27-3:	Equipos necesarios para el control del proceso a nivel de laboratorio y planta	80
Tabla 28-3:	Instrumentos el control del proceso a nivel de laboratorio y planta	81
Tabla 29-3:	Costos de materia prima, insumos y aditivos para la elaboración de un litro de jarabe de suero.....	82
Tabla 30-3:	Costos de materia prima, insumos y aditivos para la elaboración de un lote de 250 L de jarabe de suero	82
Tabla 31-3:	Costos de los equipos requeridos para la elaboración del jarabe de suero	83
Tabla 32-3:	Costos de los análisis para el control de calidad de la materia prima y del producto elaborado	83
Tabla 33-3:	Relación costo-beneficio para la producción de jarabe de suero considerando los egresos por materia prima.....	84
Tabla 34-3:	Costo de mano de obra para la producción de jarabe de suero.....	84
Tabla 35-3:	Presupuesto total anual para la implementación de la producción de jarabe de suero	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3:	Ubicación de la industria láctea San José.....	22
Figura 2-3:	Imagen satelital del Cantón Chambo.....	23
Figura 3-3:	Recepción del Lactosuero	44
Figura 4-3:	Filtrado del Lactosuero.....	45
Figura 5-3:	Pasteurizado del Lactosuero.....	45
Figura 6-3:	Enfriado del Lactosuero	46
Figura 7-3:	Suero hidrolizado	46
Figura 8-3:	Enfriamiento del Lactosuero	47
Figura 9-3:	Jarabe de suero con aditivos.....	47
Figura 10-3:	Espesamiento.....	48
Figura 11-3:	Jarabe de suero con saborizante y colorante	48
Figura 12-3:	Pesada del conservante.....	49
Figura 13-3:	Diagrama de procesos de la producción de jarabe de suero a partir del lactosuero de la planta productora de lácteos San José.....	70
Figura 14-3:	Distribución del envasado del jarabe de suero para un lote de producto	75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Resultados de la aplicación de la encuesta con respecto a la preferencia del color del producto	64
Gráfico 2-3: Resultados de la aplicación de la encuesta con respecto a la preferencia de la consistencia del producto	65
Gráfico 3-3: Resultados de la aplicación de la encuesta con respecto a la preferencia del sabor del producto	66

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A. Normativa para muestreo de leche y productos lácteos
- ANEXO B. Resultados de los análisis bromatológicos del lactosuero
- ANEXO C. Resultados de los análisis microbiológicos del lactosuero
- ANEXO D. Ficha técnica de la enzima lactasa MAYALACT 2000®
- ANEXO E. Algunas fuentes de β -galactosidasa
- ANEXO F. Fotografías del lavado del equipo del proceso de producción de lactosuero a nivel semi industrial
- ANEXO G. Fotografías del pasteurizado del suero
- ANEXO H. Fotografía de la programación de la temperatura
- ANEXO I. Fotografías de la adición de la enzima
- ANEXO J. Fotografías de la pesada y adición de aditivos
- ANEXO K. Resultados de la caracterización fisicoquímica del jarabe de suero
- ANEXO L. Resultados del examen bromatológico del suero con enzima
- ANEXO M. Resultados del análisis de glucosa en el suero de leche
- ANEXO N. Resultados del análisis microbiológico del suero de leche
- ANEXO O. Modelo de la encuesta formulada para conocer la aceptación del público del jarabe de lactosuero
- ANEXO P. Fotografías de la aplicación de la encuesta
- ANEXO Q. Cotización de la marmita
- ANEXO R. Plano general
- ANEXO S. Marmita
- ANEXO T. Etiqueta

GLOSARIO

A :	Área de transferencia de calor (m^2)
AISI :	Instituto Americano del Hierro y el Acero
A_m :	Área de la marmita (m^2)
A_p :	Alto de la paleta (m)
$^{\circ}\text{Bx}$:	Grados Brix
$^{\circ}\text{C}$:	Grados centígrados
cm^3 :	Centímetros cúbicos
CMC :	Carboximetilcelulosa
D :	Día
DBO:	Demanda bioquímica de oxígeno
d_i :	Diámetro interno de la marmita (m)
dL :	Decilitro
DQO:	Demanda química de oxígeno
d_R :	Diámetro del rodete (m)
e :	Error que se prevé cometer
E_R :	Espesor del rodete (m)
g :	Gramo
gl :	Grados de libertad
h:	Hora
h_l :	Altura del líquido (m)

h_m :	Altura de la marmita (m)
INEN:	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO :	Organización Internacional de Normalización
k:	Kilogramo
K :	Coficiente de transmisión térmica del material ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
kCal :	Kilocaloria
kJ :	Kilojoules
L_B :	Longitud del brazo del agitador (m)
m/m :	Masa/Masa
Máx:	Máximo
mg :	Miligramo
Mín:	Mínimo
m_L :	Masa del lactosuero (kg)
mm :	Milímetro
msnm:	Metros sobre el nivel del mar
n :	Tamaño muestral
N :	Tamaño de la población
NAD :	Nicotinamida adenina dinucleotido
NMP o MPN:	Número más probable
p :	Prevalencia esperada del parámetro a evaluar
ppm :	Partes por millón

$q :$	$1 - p$
$Q_{cal} :$	Flujo de calor necesario para calentar el lactosuero (Kcal/h)
$Q_{H_2O} :$	Flujo de calor transmitido por la caldera (Kcal/h)
$Q_{metal} :$	Flujo de calor del metal (Kcal/h)
$Q_{metal} :$	Flujo de calor (Kcal/h)
$\rho :$	Densidad del lactosuero (kg/m^3)
$r_m :$	Radio de la marmita (m)
$s :$	Segundo
$T_F :$	Temperatura de alimentación del lactosuero ($^{\circ}C$)
$T_H :$	Temperatura de hidrólisis ($^{\circ}C$)
$U :$	Coefficiente global de transferencia de calor ($J/m^2.s.^{\circ}C$)
$UFC :$	Unidades formadoras de colonias
$V :$	Volumen (L)
$V_m :$	Volumen de la marmita (L)
$X :$	Distancia desde el fondo del tanque al rodete (m)
$X_p :$	Distancia entre rejillas (m)
$Z =$	Valor correspondiente a la distribución de Gauss

RESUMEN

El objetivo fue diseñar un proceso industrial para la obtención de jarabe de suero a partir de residuos lácteos, para provechar todos los nutrientes presentes en este subproducto lácteo, lo que permite dar un valor agregado a esta sustancia y a su vez reducir al máximo los impactos generados al ambiente. El jarabe de suero se obtuvo a través de una reacción de hidrólisis con la enzima: β -galactosidasa de *Kluyveromyces lactis* y la adición de insumos y aditivos a escala de laboratorio y luego fue validado a escala piloto en una marmita de 10 litros de capacidad. Las condiciones de reacción fueron: 1 hora a 40°C y 6.4 de pH con agitación constante. El lactosuero cumplió desde el punto de vista fisicoquímico y bacteriológico para ser utilizado como materia prima en la producción del jarabe de suero y tuvo aceptación en una muestra de consumidores. El proceso a nivel de laboratorio logró validarse a escala piloto, obteniéndose resultados similares en ambos casos, los parámetros a controlar fueron: temperatura, agitación, cantidad y calidad del sustrato y de la enzima, pH y tiempo de reacción. El proceso propuesto a escala industrial consistió en un filtro, una marmita, una caldera, un tanque de almacenamiento, y una envasadora-taponadora. Las propiedades del jarabe obtenido muestran ciertas variaciones con respecto al comercializado en Ecuador, lo cual puede ajustarse concentrando el producto final. Se realizaron balances de masa y energía para el diseño de la marmita. La relación costo-beneficio del proyecto de producción de jarabe de suero a partir del lactosuero resulta altamente rentable, recuperándose la inversión de la adquisición de los equipos en el primer año de operación. Se debe garantizar que la materia prima, insumos y aditivos se encuentren en óptima calidad y verificar las características de la enzima utilizada en caso de que sea sustituida para establecer los nuevos parámetros de reacción (tiempo de reacción, pH y temperatura).

Palabras claves: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA> <LACTOSUERO> <ENZIMA B-GALACTOSIDASA > <HIDRÓLISIS DEL SUERO> <JARABE DE SUERO>.

ABSTRACT

The objective was to design an industrial process for obtaining serum syrup from dairy waste, to take advantage of all the nutrients present in this dairy byproduct, which gives aggregate value to this substance and, in turn, reduce the impacts generated to the environment as much as possible. Serum syrup was obtained through a hydrolysis reaction with the enzyme: β -galactosidase from *Kluyveromyces lactis* and the addition of inputs and laboratory scale additives and then, it was validated on a pilot scale in a 10-liter capacity pot. The reaction conditions were 1 hour at 40 ° C and pH 6.4 with constant stirring. The whey complied from the physicochemical and bacteriological point of view to be used as raw material in the production of the serum syrup and it had acceptance in a sample of consumers. The laboratory-level process could be validated on a pilot scale, obtaining similar results in both cases, the parameters to be controlled were temperature, agitation, substrate and enzyme amount and quality, pH and reaction time. The process proposed on an industrial scale consisted of a filter, a pot, a boiler, a storage tank, and a packer-capper. The properties of the obtained syrup show certain variations with respect to the one commercialized in Ecuador, which can be adjusted by concentrating the final product. Mass and energy balances were made for the design of the kettle. The cost-benefit of the project of serum syrup production from the whey is highly profitable, recovering the investment of the equipment procurement in the first year of operation. It should be ensured that the raw material, inputs and additives are in optimum quality and verify the characteristics of the enzyme used in case it is substituted for establishing the new reaction parameters (reaction time, pH and temperature).

Key words: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY> <WHEY>
<ENZYME B-GALACTOSIDASE> <SERUM HYDROLYSIS> <SERUM SYRUP>.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el consumo de quesos aumento aproximadamente el doble entre los años 2006 y 2015. Esta tendencia, conlleva a una mayor generación de residuos, específicamente el lactosuero, por lo que deben gestionarse alternativas para aprovechar este material y evitar su impacto negativo en el medio ambiente, incluso obtener beneficios económicos al comercializar nuevos productos.

Esta es la situación de la planta productora de lácteos San José del Cantón Chambo, Provincia de Chimborazo, ya que durante la elaboración del queso se genera una gran cantidad de residuo lácteo. Por ello, se plantea el presente proyecto, como respuesta a un problema que surge en esta microempresa. De allí que se propone diseñar un proceso industrial para la obtención de jarabe de suero a partir del lactosuero generado en esta industria.

El jarabe de suero, quien posee un poder edulcorante considerable, puede ser sustituto parcial de sólidos de leche, como azúcar para helados, confitería, productos lácteos endulzados, aderezos, productos de panadería, yogurt y bebidas refrescantes de alto valor nutritivo. Por otra parte, este sería un producto de fácil accesibilidad, económico y amigable con el medio ambiente, lo que seguro generará que tenga gran aceptación dentro de la industria y el mercado.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La Provincia de Chimborazo ha tenido un incremento notable en la producción de leche, en el año 2000 se produjeron 101643 miles de litros diarios, para el 2008 se elevó a 131459 miles de litros diarios y en el 2011 ocupó el primer lugar de la región siendo su aporte del 22% a la producción nacional con una tasa de crecimiento anual del 3% (Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad, 2011). A nivel nacional, el consumo de quesos aumentó de 0,75 Kg/año/persona en el 2006 a 1,61 Kg/año/persona en el 2015 (Ramirez, 2016). Éste aumento en la producción de la industria láctea, y específicamente la del queso, trae como consecuencias la generación de mayor cantidad de residuos, que deben gestionarse para evitar el impacto negativo en el medio ambiente e incluso obtener beneficios económicos al comercializar nuevos productos.

Tal es el caso de la planta productora de lácteos San José del Cantón Chambo, Provincia de Chimborazo, ya que durante la elaboración del queso se genera una gran cantidad de lactosuero: por cada kilo de queso se producen 9 kilogramos de lactosuero, lo que representa alrededor de un 85 a 90% del volumen de la leche (Parra, 2009). Éste, generalmente es entregado a personas de la zona para la alimentación de cerdos, para la elaboración de yogurt, pero, en la mayoría de las ocasiones, simplemente es desechado sin ninguna utilidad, dando como resultado un desperdicio de nutrientes, los cuales podrían ser aprovechados de alguna manera por diferentes agroindustrias, generando posibles alternativas de producción, rentabilidad económica y minimizando la contaminación ambiental o en el peor de los casos se deben eliminar apropiadamente mediante sistemas de depuración, lo que implicaría la construcción de estas instalaciones.

Con la finalidad de dar una solución a este problema se planteó diseñar un proceso industrial para la obtención de jarabe a partir de residuos lácteos, para provechar todos los nutrientes presentes en este subproducto lácteo, lo que le permite dar un valor agregado y a su vez reducir al máximo los impactos generados al ambiente. De esta manera, se reducen pérdidas económicas y se obtienen beneficios sociales, para las pequeñas y medianas empresas que puedan crearse a partir de la elaboración de nuevos productos a base de lactosuero.

1.2. Justificación del proyecto

En el país cada vez se impulsa más la investigación para buscar soluciones a la problemática generada por los residuos lácteos, causantes de pérdidas económicas para los microempresarios y a la contaminación del ambiente.

Por ello, se plantea el presente proyecto, como respuesta a un problema que surge en la microempresa San José en el Cantón Chambo con respecto al residuo lácteo que se genera luego del proceso productivo de la leche, por lo que se busca una solución a través de la reutilización de este residuo como materia prima.

Por estas razones se justifica como alternativa el estudio para la obtención de jarabe de suero, quien posee un poder edulcorante considerable, y puede ser sustituto parcial de sólidos de leche, como azúcar para helados, confitería, productos lácteos endulzados, aderezos, productos de panadería, yogurt y bebidas refrescantes de alto valor nutritivo. Adicionalmente, las proteínas del suero pueden sustituir parcialmente a las proteínas del huevo que se utilizan en algunos de estos alimentos. Por otra parte, este sería un producto de fácil accesibilidad, económico y amigable con el medio ambiente, lo que seguro generará que tenga gran aceptación dentro de la industria y el mercado.

Este proyecto es de tipo técnico, titulado: “DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE JARABE DE SUERO A PARTIR DE RESIDUOS LÁCTEOS”, contribuye a la generación de nuevos productos a partir de subproductos lácteos, aprovechando todos los nutrientes

presentes en el mismo, como las proteínas, minerales y vitaminas, resultando una alternativa favorable para la industria alimentaria y para la disminución de la contaminación ambiental.

Línea base del proyecto

1.2.1. Antecedentes de la Empresa

El presente proyecto se realizó en la “PLANTA PRODUCTORA DE QUESOS SAN JOSÉ” la cual se encuentra ubicada en el Cantón Chambo, provincia Chimborazo. Esta empresa, fundada en el año 2000 por el Sr. Eduardo Álvarez, es una de las más grandes y productivas del Cantón a pesar de no ser una empresa de larga data en la región. En este sentido, Lácteos San José pretende consolidarse como una de las mejores compañías de productos lácteos de la región y adicionalmente seguir expandiéndose para consolidarse en el mercado de estos productos.

La materia prima, aproximadamente 600 L de leche fresca al día es suministrada por tres productores locales (cada productor genera unos 200 L diarios), situados geográficamente en las zonas aledañas a la empresa. En ocasiones el volumen de materia prima puede incrementarse por suministro de otros proveedores y requerimientos puntuales de la empresa. En Lácteos San José laboran internamente 16 trabajadores, los cuales se ocupan de todos los procesos y requerimientos de la producción. Otras empresas de la zona proveen de todos los materiales e insumos necesarios para el funcionamiento adecuado de la planta.

Del volumen de materia prima que se procesa a diario, un 25% (como máximo) se utiliza para la producción del queso y el 75% restante es el subproducto lactosuero. Ciertas cantidades de este subproducto se vende a 3-5 ctvs/L a personas de la zona que utilizan esta sustancia para la alimentación de cerdos, pero gran parte del subproducto es descargado a la red del alcantarillado público sin realizarse ningún tipo de tratamiento.

La planta productora Lácteos San José posee una infraestructura adecuada para la elaboración de sus quesos y espacio adicional para ubicar una planta de tratamiento del lactosuero, a pesar de ello,

hacer un tratamiento previo para su descarga al medio ambiente no es la mejor solución para la gestión de este residuo. En cambio, este espacio puede ser utilizado para instalar una pequeña planta procesadora del lactosuero, con el fin de producir jarabe de suero y valorizar esta fracción de subproducto, obteniendo beneficios económicos adicionales y logrando minimizar su impacto ambiental.

1.2.2. Marco conceptual

1.2.2.1. Generalidades de la leche

La definición de leche está dada por su origen, es un producto que se genera de uno o más ordeños higiénicos e ininterrumpido de la ubre de uno o varios mamíferos domésticos, y sin modificar su composición y sin calostros, se refrigera (Periago, 2014) (Universidad Nacional Autónoma de México, 2015). Esta definición corresponde generalmente a lo que se considera “Leche cruda”.

Según lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 0009:2012 la leche cruda es aquella que no ha sido sometida a ningún tipo de calentamiento, es decir su temperatura no ha superado la de la leche inmediatamente después de ser extraída de la ubre (no más de 40°C) (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012).

Se considera que la leche es uno de los productos más antiguos de mayor importancia y mayor poder alimenticio. Un producto alimenticio es aquel que satisface las necesidades nutritivas de quien lo consume, en este caso la leche posee una variedad de características que cumple con este fin (Universidad Nacional Autónoma de México, 2015).

En sus primeros años de vida, los mamíferos dependen fundamentalmente de la leche, en el caso particular del hombre, este la ha aprovechado para su alimentación a lo largo de toda su vida, consumiéndola de manera directa o transformándola para obtener subproductos como el queso,

yogurt, mantequilla, entre otros. Su industrialización se ha desarrollado a nivel mundial, permitiendo obtener día a día nuevos productos que complementan la nutrición humana (Agudelo & Bedoya, 2005).

Las leches destinadas al consumo humano existentes en la actualidad son la cruda y la tratada térmicamente (esterilizada o pasteurizada). La leche debe tratarse térmicamente con el fin de aumentar su tiempo de conservación y eliminar contaminantes, esto es necesario ya que la misma puede deteriorarse rápidamente y contaminarse fácilmente (Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia, 2002).

1.2.2.2. El queso como subproducto de la leche

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1528:2012 se define queso como: el producto blando, semiduro, duro y extra duro, madurado o no madurado, y que puede estar recubierto, en el que la proporción entre las proteínas de suero y la caseína no sea superior a la de la leche, obtenido mediante (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012):

- Coagulación total o parcial de la proteína de la leche, leche descremada, leche parcialmente descremada, crema, crema de suero o leche, de mantequilla o de cualquier combinación de estos ingredientes, por acción del cuajo u otros coagulantes idóneos, y por escurrimiento parcial del suero que se desprende como consecuencia de dicha coagulación, respetando el principio de que la elaboración del queso resulta en una concentración de proteína láctea (especialmente la porción de caseína) y que por consiguiente, el contenido de proteína del queso deberá ser evidentemente más alto que el de la mezcla de los ingredientes lácteos ya mencionados en base a la cual se elaboró el queso (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012).
- Técnicas de elaboración que comportan la coagulación de la proteína de la leche y/o de productos obtenidos de la leche que dan un producto final que posee las mismas características físicas, químicas y organolépticas que el producto definido en el apartado anterior (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012).

“En general el proceso de producción del queso es bastante sencillo, a pesar de ello involucra complejos procesos físicos, químicos y microbiológicos. Las principales etapas en la producción del queso fresco son: pretratamiento (estandarización, homogenización, tratamiento térmico, adición de cultivos iniciadores), coagulación, sinéresis (corte, agitación, cocción, desuerado), salado, moldeado, prensado, envasado y empaquetado” (Ramírez-López & Vélez-Ruiz, 2012).

1.2.2.3. Lactosuero como subproducto en la elaboración del queso

El suero de leche (o lactosuero) es el producto lácteo líquido obtenido durante la elaboración del queso, la caseína o productos similares, mediante la separación de la cuajada, después de la coagulación de la leche pasteurizada y/o los productos derivados de la leche pasteurizada. La coagulación se obtiene mediante la acción de, principalmente, enzimas del tipo del cuajo. Dependiendo de su acidez y del contenido de lactosa, el suero de leche líquido, se clasifica en: suero de leche ácido y suero de leche dulce (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

El suero de leche ácido es el producto lácteo líquido obtenido durante la elaboración del queso, la caseína o productos similares, mediante la separación de la cuajada después de la coagulación de la leche pasteurizada y/o los productos derivados de la leche pasteurizada. La coagulación se produce, principalmente, por acidificación química y/o bacteriana (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

El suero de leche dulce es el suero en el cual el contenido de lactosa es superior y la acidez es menor a la que presenta el suero de leche ácido (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Y si en estos dos tipos de sueros se remueve parcialmente su contenido de agua, mientras todos los demás constituyentes permanecen en las mismas proporciones relativas se define como suero de leche concentrado (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

El suero derivado de la producción del queso es una de las proteínas de mayor consumo a través de distintos alimentos procesados. Comprende entre 80 y 90% del volumen total de la leche entera y contiene cerca del 50% de sus nutrientes: proteínas solubles, lactosa, vitaminas y minerales (Instituto Nacional del Emprendedor, 2015).

El lactosuero es un producto muy contaminante generado durante el proceso de elaboración del queso, al separar éste de la leche que se cuaja y constituye un grave problema para el sector lácteo (Servicio de Información y Noticias Científicas, 2009).

1.2.2.4. Composición del lactosuero

La composición nutricional del lactosuero varía considerablemente dependiendo de las características de la leche utilizada como materia prima para la elaboración del queso, el tipo de queso que se produce y las tecnologías industriales utilizadas.

En promedio, el lactosuero contiene más de la mitad de los sólidos de la leche original, incluyendo alrededor del 20% de las proteínas (lactoalbúminas y lactoglobulinas), la mayor parte de la lactosa, minerales (calcio, fósforo, sodio y magnesio) y vitaminas hidrosolubles (tiamina, ácido pantoténico, riboflavina, piridoxina, ácido nicotínico, cobalamina y ácido ascórbico) (Hernández-Rojas & Vélez-Ruíz, 2014).

La composición del lactosuero dulce y ácido puede observarse en la Tabla 1-1 y su contenido en vitaminas en la Tabla 1-2.

Tabla 1- 1: Composición del lactosuero dulce y ácido

Componente	Lactosuero dulce (g/L)	Lactosuero ácido (g/L)
Sólidos totales	63,0-70,0	63,0 -70,0
Lactosa	46,0-52,0	44,0-46,00
Proteína	6,0-10,0	6,0-8,0
Calcio	0,4-0,6	1,2-1,6
Fosfatos	1,0-3,0	2,0-4,5
Lactato	2,0	6,4
Cloruros	1,1	1,1

Fuente: (Parra, 2009)

Tabla 1- 2: Contenido en vitaminas del lactosuero

Vitamina	Concentración (mg/mL)	Necesidades diarias
Tiamina	0,38	1,5
Riboflavina	1,2	1,5
Ácido nicotínico	0,85	10-20
Ácido pantoténico	3,4	10
Piridoxina	0,42	1,5
Cobalamina	0,03	2
Ácido ascórbico	2,2	10-75

Fuente: (Parra, 2009)

1.2.2.5.Muestreo del lactosuero

Con el fin de realizar el muestreo de leche y productos lácteos (en esta investigación necesario para el suero de leche) se lleva a cabo el siguiente procedimiento planteado por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 0004 (1984):

- Podrá usarse como unidad de muestreo el contenido total de un envase pequeño destinado a la venta al por menor, en cuyo caso el envase original no deberá abrirse o alterarse.
- Mezclar completamente el producto, transvasándolo varias veces de un recipiente a otro, o agitándolo adecuadamente con un agitador de disco.
- En el caso de muestrear crema, debe usarse uno de los agitadores de disco según el tamaño del recipiente, sumergiéndolo un número suficiente de veces para asegurar una mezcla completa del producto. El agitador debe moverse cuidadosamente para evitar la formación de espuma o el efecto del batido.
- Inmediatamente después de la agitación, tomar una unidad de muestreo no menor de 200 cm³ mediante un cucharón y transferirla a un envase adecuado.
- Si hay dificultades para homogeneizar el producto, deben mostrarse porciones de diferentes lugares del recipiente hasta totalizar la cantidad requerida.
- Si el producto está envasado en recipientes pequeños para la venta, la muestra debe formarse de acuerdo con lo indicado en la norma, y los recipientes no deben abrirse hasta el momento del análisis.
- Los envases o empaques que contengan las unidades de muestreo deberán sellarse y marcarse con las rúbricas de las partes interesadas, y deberá suscribirse un acta de muestreo que incluya la siguiente información: a) número de la norma INEN de referencia, b) número de identificación de la muestra, c) fecha de muestreo, d) nombre del producto y marca comercial, e) identificación del lote o de Id partida; f) masa o volumen total del lote o de la partida; g) número de unidades de muestreo obtenidas; h) lugar de procedencia del producto, i) lugar de toma de las muestras, J) observaciones que se consideren necesarias, y k) nombres, firmas y direcciones de las partes interesadas.

- La muestra destinada al laboratorio deberá enviarse tan pronto como sea obtenida, tomando precauciones durante el transporte para que no haya exposición directa del producto a la luz y para que la temperatura no sea menor de 0°C ni mayor de 10°C. Cuando las muestras sean destinadas a examen microbiológico, deberá usarse un recipiente aislado que permita mantener una temperatura comprendida entre 0°C y 5°C, excepto en el caso de productos lácteos en conserva envasados en sus recipientes originales, o en el caso de distancias cortas de transporte. Las muestras de queso deberán mantenerse en condiciones que eviten la separación de grasa o humedad, y el queso fresco deberá mantenerse siempre a una temperatura comprendida entre 0°C y 5°C.
- Para resolver en casos de discrepancia, las muestras restantes deberán almacenarse en refrigerador a una temperatura comprendida entre 0°C y 5°C, durante un tiempo no mayor de siete días si los ensayos no son microbiológicos, y 24 h si son microbiológicos; al cabo de este tiempo las muestras deberán eliminarse adecuadamente.
- Podrá añadirse un preservador adecuado a las muestras de productos líquidos o quesos, cuando éstas se destinan a análisis químico o físico, siempre que el mismo no interfiera con el análisis. En tales casos, la naturaleza del preservador y la cantidad añadida deberán indicarse en la etiqueta de la muestra y en cualquier informe relativo al muestreo. No deberán añadirse preservadores a las muestras de productos sólidos o semisólidos (excepto queso) o a las muestras destinadas a ensayos microbiológicos.
- Las unidades de muestreo podrán mezclarse antes del análisis o examinarse individualmente, según el criterio del laboratorio de análisis o por solicitud expresa de las partes interesadas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984).

1.2.2.6. Caracterización del lactosuero

Según lo establecido en la norma INEN 2594:2011 los parámetros fisicoquímicos que deben evaluarse en el suero de leche líquido son: lactosa, proteína láctea, grasa láctea, ceniza, acidez titulable, y pH. Desde el punto de vista microbiológico se debe hacer recuento de microorganismos aerobios mesófilos, recuento de *escherichia coli*, *staphylococcus aureus*, salmonella y detección de *Listeria monocytogenes*. En esta misma norma se presentan los valores máximo y mínimo que debe cumplir el producto (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Otros parámetros que pueden evaluarse para verificar la calidad del lactosuero son: materia seca, lactosa, grasa bruta, proteína bruta, cenizas, calcio, fósforo, potasio, cloruros, ácido láctico, pH, grados Dornic, entre otros.

1.2.2.7. Aprovechamiento del lactosuero. Subproductos.

Existen dos alternativas para la gestión de este residuo: someterlo a transformaciones biológicas encaminadas a su descontaminación o usarlo como base para la producción de compuestos de interés, lo cual es el objetivo del presente estudio (Servicio de Información y Noticias Científicas, 2009).

- *Proteína*

La proteína del lactosuero es ampliamente utilizada para la producción de alimentos funcionales, como por ejemplo fórmulas infantiles, bebidas fortificadas, batidos de proteínas de suero, entre otros (Hernández-Rojas & Vélez-Ruíz, 2014). Adicionalmente, se emplean para generar una amplia variedad de alimentos gracias a sus propiedades gelificantes y emulsificantes, siendo la β -lactoglobulina el principal agente gelificante (Parra, 2009).

Los concentrados de proteína de suero son elaborados para sustituir la leche descremada, y se emplean en la elaboración de yogurt, queso procesado, salsas, fideos, galletas, helados, pasteles, derivados lácteos, entre otros productos (Parra, 2009).

Durante el procesamiento del lactosuero para la separación de las proteínas se efectúa una operación de ultrafiltración, en este equipo, quedan retenidas las proteínas y el líquido filtrado (permeato) es rico en sales y en el azúcar lactosa, subproductos que también pueden emplearse en la industria alimenticia.

- *Aditivos aromáticos*

Una alternativa que se encuentra en estudio es modificar la bacteria *Lactobacillus casei* mediante técnicas de manipulación genética para que, a partir de la lactosa presente en el suero, sea capaz de producir diacetilo y acetoína, compuestos químicos de uso común en la industria como aditivos aromáticos, investigación llevada a cabo en el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en España (Servicio de Información y Noticias Científicas, 2009).

- *Levadura para panificación*

El lactosuero en polvo es bien conocido como ingrediente en la industria de la panificación por resaltar su sabor y cualidades de calidad. Volumen, textura, corteza y retención de frescura en el pan de trigo, estas características son proporcionadas por la incorporación de una combinación de emulsificantes y lactosuero en polvo (Parra, 2009).

- *Lactosa*

Otro subproducto importante del aprovechamiento de las proteínas del suero del queso es el permeato de la ultrafiltración, rico en lactosa y sales minerales. Puede usarse para obtener lactosa, reconstituir leche humana mezclándolo con caseína, α -lactalbúmina y lactoferrina, o como medio de cultivo en procesos de fermentación para la producción de alcohol, vino blanco, levadura y ácidos orgánicos (Camacho, 2009).

- *Producción de etanol*

Este proceso se lleva a cabo mediante una fermentación con *Kluyveromyces marxianus* var. *marxianus* o *Kluyveromyces fragilis* y el sustrato es el lactosuero desproteinizado. La temperatura de fermentación es de 24-34°C y el rendimiento es de 75-85% del valor teórico. Ya existen destilerías a nivel mundial donde utilizan el lactosuero en la elaboración de bebidas alcohólicas (Parra, 2009).

- *Ácidos orgánicos*

A partir de la fermentación del lactosuero pueden obtenerse diferentes tipos de ácidos orgánicos de gran interés en la industria química y de alimentos. Entre ellos, el butírico, propiónico, láctico, D-glucónico, cítrico y acético (Parra, 2009).

1.2.2.8. Jarabe de suero

“La lactosa es el único glúcido presente en altas concentraciones en el suero, es menos dulce y soluble que la sacarosa y no siempre puede ser absorbida por el sistema digestivo humano. Por lo tanto, la hidrólisis de la lactosa en glucosa y galactosa es interesante desde dos puntos de vista: en primer lugar, es una solución sencilla para el problema de intolerancia a la lactosa, ampliando enormemente el segmento del mercado al que se dirige el producto. En segundo lugar, el jarabe hidrolizado posee mayor solubilidad y poder edulcorante, facilitando las etapas tecnológicas de elaboración” (Cuellas, 2017).

1.2.2.9. Consideraciones medioambientales

El proceso productivo de la leche tratada térmicamente genera diversos impactos en el medio ambiente, entre los más representativos se pueden mencionar: rechazos del producto en la etapa de recepción (vertido líquido), lodos y filtros agotados en la etapa de filtración y clarificación, lodos de la etapa de desnatado y normalización, condensados de las etapas de tratamiento térmico y homogenización, residuos de producto no conforme y envases defectuosos de la etapa de envasado. Asimismo, en todas las etapas se generan aguas residuales, residuos sólidos y se consume agua,

energía eléctrica y productos químicos debido al mantenimiento y limpieza de los equipos (Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia, 2002).

El problema más relevante a nivel medio ambiental de esta industria es la generación de aguas residuales, que contiene gran cantidad de grasas, proteínas, azúcares y sales minerales. Por lo tanto, son efluentes que contienen alta contenido de materia orgánica, niveles elevados de nitrógeno, fósforo y conductividad y variaciones considerables de pH y temperatura (Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia, 2002).

En el caso del lactosuero, su gran contenido de nutrientes (mostrados en la Tabla 1) produce un aproximado de 3,5 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y 6,8 kg de demanda química de oxígeno (DQO) por cada 100 kg de este subproducto, siendo la lactosa, el principal componente de sólidos que contribuye a la alta DBO y por ende a la contaminación de las aguas, si el mismo es descargado a la red de alcantarillado (Parra, 2009). Esto lo convierte en la mayor fuente de contaminación medio ambiental de esta industria.

“El lactosuero representa un producto residual indeseable que genera grandes problemas ambientales. Por cada kilo de queso producido se desechan aproximadamente nueve litros de lactosuero; se ha calculado que una industria quesera pequeña, produce una contaminación comparable a la de 36.000 personas” (Cuellas, 2017).

1.2.2.10. Diseño

En esta sección se incluyen las ecuaciones matemáticas utilizadas para el diseño de la marmita, así como los balances de masa y energía.

Cálculo para el dimensionamiento de la marmita

Volumen de la marmita

$$Vm = V * 1.15 \qquad \text{Ec. 1}$$

Donde:

V = Volumen de lactosuero a procesar (L).

V_m = Volumen final de la marmita considerando el factor de seguridad (L).

Factor de seguridad: 15% del volumen de lactosuero a procesar.

Cálculo del radio de la marmita

$$r_m = \frac{d_i}{2} \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

r_m = Radio de la marmita (m).

d_i = Diámetro interno de la marmita (m).

Altura de la marmita

$$h_m = \frac{V}{\pi r^2} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

h_m = Altura de la marmita (m).

Área de la marmita

$$A_m = 2\pi r (h_m + r) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

A_m = Área de la marmita (m²).

Longitud del brazo del agitador

$$L_B = \frac{5}{8} d_i \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

L_B = Longitud del brazo del agitador (m).

Espesor del rodete

$$E_R = \frac{1}{10}L_B \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

E_R = Espesor del rodete (m).

Diámetro del rodete

$$d_R = \frac{3}{4}d_i \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

d_R = Diámetro del rodete (m).

Distancia entre el fondo del tanque y el rodete

$$X = h - L_B \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

X = Distancia entre el fondo del tanque y el rodete (m).

h = Altura del líquido (m). Para el cálculo de la altura del líquido se utiliza la ecuación 3 considerando el volumen de líquido a procesar.

Alto de la paleta

$$A_P = \frac{1}{5}L_B \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

A_P = Altura de la paleta (m).

Distancia entre paletas

$$X_P = \frac{L_B}{4} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

X_P = Distancia entre paletas (m).

4 = Número de palas planas del agitador.

Balance de masa

De acuerdo con lo establecido en la Ley de Conservación de Masas “La masa no se crea, ni se destruye, sólo se transforma”, por lo tanto, en una reacción química la suma de la masa de los reactivos es igual a la suma de la masa de los productos. Por lo tanto, el balance general en la marmita utilizada en esta investigación es el siguiente:

$$\text{Entrada} = \text{Salida} - \text{Acumulación}$$

Se considera que las pérdidas por evaporación son despreciables.

$$\text{Masa lactosuero} + \text{Masa enzima} = \text{Masa suero hidrolizado}$$

Masa lactosuero

$$m_L = \rho * V \quad \text{Ec. 11}$$

m_L = Masa del lactosuero (kg).

ρ = Densidad del lactosuero (kg/m³).

Masa de la enzima (m_e)

Se calcula utilizando la ecuación 11 y considerando que la densidad de la enzima es 1.15 kg/L.

Balance de energía

El balance de energía al igual que el balance de materia es una derivación matemática de la "Ley de la conservación de la energía" (Primera Ley de La Termodinámica), es decir "La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma". El balance de energía es un principio físico fundamental al igual que la conservación de masa, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema (Procesosbio, 2017).

Por lo tanto, el balance en la marmita puede resumirse como:

$$Q_{\text{ganado}} = Q_{\text{perdido}}$$

$$Q_{\text{cal}} = Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_{\text{metal}} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

Q_{cal} = Flujo de calor necesario para calentar el lactosuero (Kcal/h).

$Q_{\text{H}_2\text{O}}$ = Flujo de calor transmitido por la caldera (Kcal/h).

Q_{metal} = Flujo de calor del metal (Kcal/h).

El calor transmitido por el metal se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{\text{metal}} = k * A * \Delta T$$

$$Q_{\text{metal}} = k * A * (T_H - T_F) \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

Q_{metal} = Flujo de calor (Kcal/h).

k = Coeficiente de transmisión térmica del material ($\text{W}/\text{m}^2 * ^\circ\text{C}$).

Para acero inoxidable 16.3 $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$.

A = Área de transferencia de calor (m^2).

T_H = Temperatura de hidrólisis ($^\circ\text{C}$).

T_F = Temperatura de alimentación del lactosuero ($^\circ\text{C}$).

Área de transferencia de calor

$$A = 2 * \pi * r_m * h_m \quad \text{Ec. 14}$$

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

$$Q_{cal} = U * A * \Delta T \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

U: Coeficiente global de transferencia de calor ($J/m^2 \cdot s \cdot ^\circ C$).

Eficiencia del reactor

$$\eta = \frac{Q_T - Q_{H_2O}}{Q_T} * 100 \% \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

η : Eficiencia del reactor (%)

Q_{H_2O} : Flujo de calor perdido por irradiación (Kcal/h)

Q_T : Flujo de calor total irradiación (Kcal/h)

1.3. Beneficiarios directos e indirectos

1.3.1. Beneficiarios Directos

El presente proyecto se desarrolla con la finalidad de beneficiar de forma directa a la planta productora de residuos lácteos San José del Cantón Chambo.

1.3.2. Beneficiarios Indirectos

- Con el desarrollo de este proyecto se beneficiará la población aledaña a la planta productora de lácteos al evitar la contaminación de su entorno con este residuo.
- Las pequeñas y medianas empresas que desarrollan actividades de producción de quesos al considerar este proyecto como una alternativa.

- Empresas alimenticias, que pueden adquirir el jarabe de suero e incorporarlo en su proceso productivo como materia prima.

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. Objetivo general

Diseñar un proceso industrial para la obtención de jarabe de suero a partir de residuos lácteos.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física-química-bacteriológica en el lactosuero como materia prima, según la norma NTE INEN 2594:2011 para suero de leche en líquido.
- Identificar las variables y parámetros del proceso para la obtención del jarabe de suero a escala industrial.
- Diseñar las operaciones de proceso optimización para la obtención del jarabe de suero a nivel industrial.
- Validar el proceso con ensayos de producción a escala semindustrial y comparar los resultados de la caracterización físico-química y bacteriológica del producto con las Propiedades del jarabe de glucosa comercializado en el Ecuador.
- Establecer costos de ejecución del proceso industrial.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. Localización del proyecto

El estudio se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la recolección de la materia prima se realizó en la planta productora de lácteos “San José” (Ver figura 3-1) del Cantón Chambo (Ver figura 3-2) ubicado en la Provincia de Chimborazo.



Figura 1-3: Ubicación de la industria láctea San José
Fuente: (Google Maps, 2017)

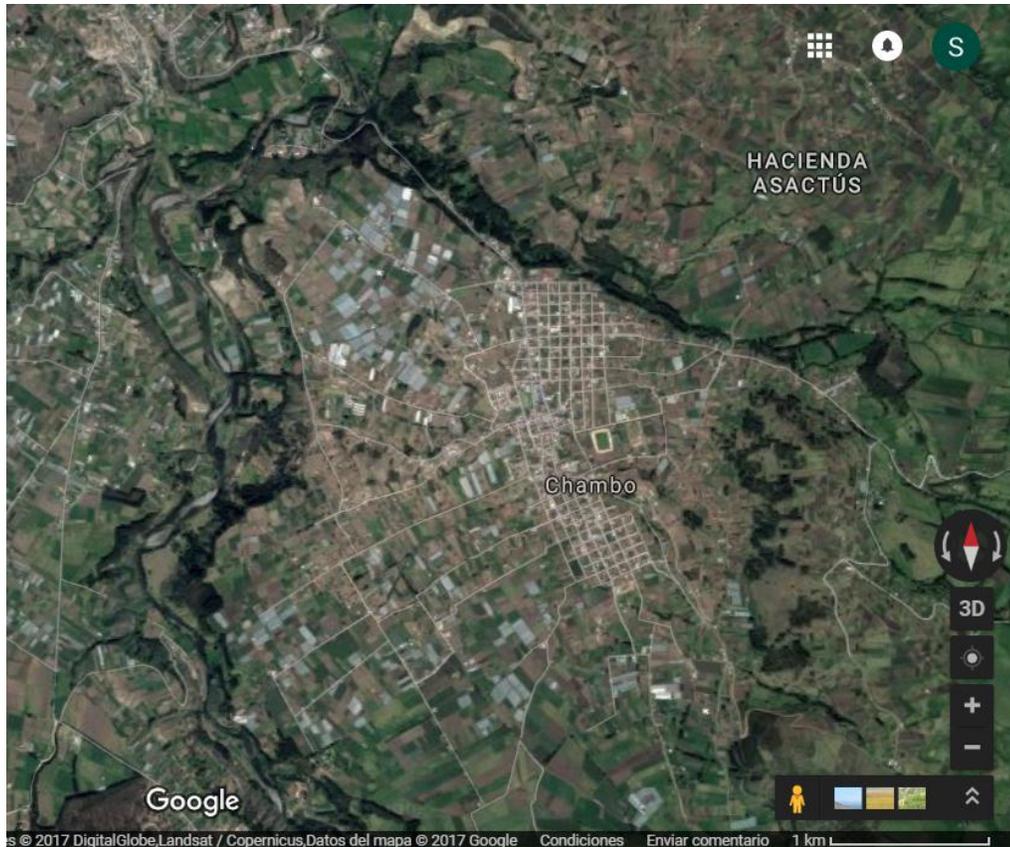


Figura 2-3: Imagen satelital del Cantón Chambo
Fuente: (Google Maps, 2017)

Las coordenadas de la industria láctea se presentan en la tabla 3-1.

Tabla 1-3: Localización de la industria láctea San José

Provincia	Chimborazo
Ciudad	Riobamba
Cantón	Chambo
Superficie	163 km ²
Altura	2780 msnm
Dirección	Calle 11 & Vía Catequilla
Coordenadas	Longitud: -1.7290296 Latitud: -78.5902462

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

3.2. Ingeniería del proyecto

3.2.1. Tipo de estudio

El presente trabajo de investigación es un proyecto del tipo técnico-experimental, ya que, mediante la descripción de una problemática, el conocimiento de las bases teóricas y normativas, su desarrollo analítico, el análisis experimental de su posible solución y la propuesta del proceso de obtención del producto final, mediante operaciones y/o procesos unitarios, se lleva a cabo la consecución del mismo.

3.2.2. Toma de muestras para la materia prima

La parte experimental se realizó en los Laboratorios de Operaciones Unitarias, Química Orgánica y Microbiología de la Facultad de Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

La toma de muestra se lo realizó de manera manual e individual para cada tipo de análisis y pruebas correspondientes de acuerdo con lo establecido en la Norma NTE INEN 0004 (1984): Para muestreo de leche y productos lácteos (Ver sección 1.3.2.5 y anexo A). En función a lo establecido en esta norma la toma de muestras aleatorias se llevó a cabo según lo indicado en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Toma de muestras de la materia prima

<i>Análisis Microbiológico</i>				Lugar	
Día	# Muestra	Cantidad (ml)	Hora	Planta productora de quesos San José de Chambo	
Martes	5	100	09:00		
Viernes	5	100	09:00		
<i>Análisis Fisicoquímico</i>					
Día	# Muestra	Cantidad (ml)	Hora		
Martes	6	100	09:00		
Viernes	6	100	09:00		

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984)

3.2.3. Toma de muestras para el producto

En la Tabla 3-3 se indica la información relativa a la toma de muestras del lactosuero para la elaboración del jarabe de suero.

Tabla 3-1: Toma de muestras del lactosuero para la elaboración del jarabe

Semana	Día	Numero de Muestras	Cantidad (L)	Hora	Lugar
Semana 1	Martes	1	1	09:00	Planta productora de quesos San José de Chambo
	Viernes	1	1	09:00	
Semana 2	Martes	1	1	09:00	
	Viernes	1	1	09:00	
Semana 3	Martes	1	1	09:00	
	Viernes	1	1	09:00	
Semana 4	Martes	1	1	09:00	
	Viernes	1	1	09:00	

Elaborado por: LLERENA Evelyn, 2017

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984)

Cabe indicar que la planta productora de quesos “San José” de Chambo labora los 7 días de la semana, 30 días al mes y, por lo general, los días de mayor descarga de subproducto (lactosuero) lo realizan entre los días martes y viernes de cada semana entre las 08:00 a 09:00, es por ello que la recolección de muestras tanto para pruebas de caracterización como para la elaboración del producto (Jarabe) se realizaron en los días y horas antes señaladas en las Tablas 2-3 y 3-3.

La producción de lactosuero por día es de 400 L por lo que se tomó un litro por cada 100 L, se homogenizó y posteriormente se tomó 1 litro para la parte experimental. Se decidió realizar los ensayos de laboratorio con este volumen debido a que los materiales del laboratorio no son aptos para una cantidad mayor.

3.2.4. *Métodos y Técnicas*

3.2.4.1. *Métodos*

Para el desarrollo de este proyecto de investigación técnico se utilizó como base tres métodos de referencia, el inductivo, deductivo y experimental. Al ejecutar cada una de las fases del proyecto siguiendo los lineamientos de estas metodologías, se garantiza la consecución de los objetivos de una manera ordenada y científica.

- **Método inductivo:** El método inductivo es aquel que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Es el método científico más habitual e involucra cuatro pasos esenciales: observación de los hechos, clasificación, estudio de estos hechos y la contrastación. En este proyecto se estudió la posibilidad de procesar el residuo lactosuero, con el fin de obtener un subproducto que permita su reaprovechamiento (tema planteado por observación de la problemática). Para ello, se caracterizó la materia prima (clasificación), se analizaron las alternativas de reaprovechamiento (en este caso jarabe de suero), se llevó a cabo la transformación química (estudio), y finalmente, se contrastó el producto obtenido con la norma y sus ventajas de uso y comercialización con respecto a la materia prima de partida.
- **Método deductivo:** El método deductivo es aquel que alcanza las conclusiones generales partiendo de hipótesis o antecedentes particulares. En este proyecto, para lograr producir jarabe de suero a partir del lactosuero, se plantea como hipótesis que “La producción de jarabe de suero a partir del lactosuero permite reaprovechar este residuo y minimizar el impacto ambiental que causa su vertido al medio ambiente”. Son ampliamente conocidos los impactos ambientales negativos que genera este residuo en la naturaleza, a partir de este conocimiento previo y de las diferentes técnicas experimentales existentes, este proyecto presentó una solución de la problemática planteada y la corroboración de la hipótesis.
- **Método experimental:** Este método implica la observación, manipulación, registro de las variables (dependiente, independiente, intervinientes, etc.) que afectan un objeto de estudio. En este proyecto se utilizaron diversas técnicas de laboratorio para caracterizar tanto la materia prima como el producto obtenido, y a través de diversos equipos, herramientas y materiales se efectuó la transformación de la materia prima en el producto deseado. Esta transformación

involucró el control y/o la manipulación de las variables del proceso (entre ellas, temperatura, presión, tiempo, entre otras).

Los métodos para la caracterización y el análisis proximal, tanto del lactosuero como del jarabe de suero (producto final) se llevaron a cabo según lo establecido en las normas INEN respectivas. Para la caracterización fisicoquímica y bacteriológica del lactosuero se utilizó la norma NTE INEN 2594:2011. En las Tablas 4.3 y 5-3, se presentan los parámetros que la norma exige determinar, los valores máximos y mínimos permitidos y el código del método de ensayo.

Tabla 4-3: Requisitos fisicoquímicos del suero de leche líquido

REQUISITOS	Suero de leche dulce		Suero de leche ácido		Método de ensayo
	Min.	Max.	Min.	Max.	
Lactosa, % (m/m)	--	5	--	4,3	AOAC 984.15 (Lynch, et al., 2007)
Proteína láctea, (m/m)	0,8	--	0,8		NTE INEN 16 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015)
Grasa láctea, % (m/m)	--	0,3	--	0,3	NTE INEN 12 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012)
Ceniza, % (m/m)	--	0,7	--	0,7	NTE INEN 14 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984)
Acidez titulable, % (calculada como ácido láctico)	--	0,16	0,35	--	NTE INEN 13 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984)
pH	6,8	6,4	5,5	4,8	AOAC 973.41 (AOAC International, 2014)
El contenido de proteína láctea es igual a 6,38 por el % nitrógeno total determinado					

Tabla 5-3: Requisitos microbiológicos para el suero de leche líquido

Requisito	N	M	M	C	Método de ensayo
Recuento de microorganismos aerobios mesófilos ufc/g	5	30000	100000	1	NTE INEN 1529-5 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2006)
Recuento de <i>Escherichia coli</i> ufc/g	5	<10	--	0	NTE INEN 1529-8 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015)
<i>Staphylococcus aureus</i> ufc/g	5	<100	100	1	NTE INEN 1529-14 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013)
Salmonella /25g	5	Ausencia		0	NTE INEN 1529-15 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)
Detección de <i>Listeria monocytogenes</i> /25g	5	Ausencia	--	0	ISO 11290-1 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2017)

3.2.4.2. Técnicas

La metodología, materiales y procedimientos llevados a cabo para cada parámetro analizado del lactosuero se indican a continuación en la tabla 6-3 y 7-3. Dichas pruebas se realizaron en el Laboratorio Farmacéutico “Guimo” ubicado en el Cantón Pelileo parroquia Huambaló sector la Florida de la provincia de Tungurahua.

Tabla 6-3: Fundamentos de los análisis fisicoquímicos evaluados en el lactosuero y en el producto terminado

Parámetro	Principio	Materiales y reactivos a utilizar	Procedimiento
Lactosa	<p>La medición de la lactosa, el principal carbohidrato de la leche es sumamente importante ya que su concentración, presencia o no en la leche contribuye a las propiedades sensoriales y funcionales de la misma, e influye sobre aspectos económicos de este producto ya que su precio está basado en su contenido de sólidos. El método oficial AOAC 984.15 tiene como base la hidrólisis enzimática de la lactosa para obtener glucosa y galactosa a un pH de 6,6 a través de la enzima β-galactosidasa. La oxidación subsecuente de la β-galactosa genera ácido galactónico a pH 8,6 lo cual es catalizado por la β-galactosa dehidrogenasa seguido por la reducción de la nicotinamida adenina dinucleotido (NAD⁺). La cantidad del NAD reducido es medido a 340 nm y es proporcional al contenido de galactosa (DIONEX, 2016).</p>	<p>Balanza analítica, sistema de filtración al vacío, vaso de precipitación, matraz aforado de 500mL, papel filtro, matraz Erlenmeyer, bureta de 50 mL, termómetro, cronometro. NaOH 0.25 N, ácido clorhídrico 1N, ácido nítrico 1N, urea cristalizada, yoduro de potasio al 30%, tiosulfato de Sodio N/10, almidón 1% y reactivo de fehling.</p>	<p>Se pesa 12.5 g de la muestra, se coloca en un matraz aforado y se añaden 200mL de agua.</p> <p>Mezclar y añadir 15 mL de solución de fehling después 10mL de NaOH 0.25N, ajustar a 20°C aforar al volumen de agua y filtrar.</p> <p>Cubrir la solución y hervir por 6 minutos.</p> <p>Colocar el embudo en el matraz y agregar 5mL de ácido nítrico. Calentar la mitad y verter en el embudo, la otra mitad y el resto pasa a disolver trazas de óxido de cobre.</p> <p>Calentar la solución de nitrato de cobre hasta ebullición y añadir 1.5 g de Urea, dejar hervir unos minutos. Al enfriar adicionar 10 mL de yoduro de potasio al 30% y titular con tiosulfato de sodio N/10 añadiendo al final 10 mL de la solución de almidón.</p>

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: (Lynch, et al., 2007)

Parámetro	Principio	Materiales y reactivos a utilizar	Procedimiento
Proteína láctea	Una porción de ensayo se lleva a digestión con una mezcla de ácido sulfúrico concentrado y sulfato de potasio, usando sulfato de cobre (II) como catalizador para que de este modo se convierta el nitrógeno orgánico presente en sulfato de amonio. La función del sulfato de potasio es elevar el punto de ebullición del ácido sulfúrico y proporcionar una mezcla oxidante más fuerte para la digestión. A la muestra fría luego de la digestión, se añade hidróxido de sodio en exceso para liberar amoníaco. El amoníaco liberado es destilado en un exceso de solución de ácido bórico para luego ser titulado con ácido clorhídrico. El contenido de nitrógeno se calcula a partir de la cantidad de amoníaco producido.	Baño de agua, matraces Kjeldahl, balanza analítica, núcleos de ebullición, bureta, probetas graduadas, aparato de digestión, aparato de destilación, matraces cónicos, titulador automático provisto de un pH-metro. Sulfato de potasio, solución de sulfato de cobre (II), ácido sulfúrico, solución de hidróxido de sodio, solución indicadora, solución de ácido bórico, ácido clorhídrico, sulfato de amonio, triptófano, sacarosa.	<p>Pesar de 0,7 g a 2,2 g de la muestra y transferir al matraz Kjeldahl.</p> <p>Agregar 15g de la mezcla catalizadora sulfato de cobre, sulfato de potasio, anhídros y 25cm³ de H₂SO₄ concentrado.</p> <p>Agregar aproximadamente 200 cm³ de agua destilada.</p> <p>Agitar el matraz Kjeldahl hasta mezclar completamente su contenido y calentar.</p> <p>Destilar hasta que todo el amoníaco haya pasado a la solución acida contenida en el matraz, lo que se logra después de destilar por lo menos 150 cm³.</p> <p>Antes de retirar el matraz, lavar con agua destilada el extremo y titular el exceso de ácido con la solución 0,1 N de NaOH.</p>

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015)

Parámetro	Principio	Materiales y reactivos a utilizar	Procedimiento
Grasa láctea	El contenido de grasa de la leche es la cantidad, expresada en porcentaje de masa, de sustancias, principalmente grasas, extraídas de la leche mediante procedimientos normalizados.	Estufa ajustada a $113 \pm 5^{\circ}\text{C}$, desecador, equipo Soxhlet, pincel, dedal Soxhlet, vaso de precipitación, espátula de acero inoxidable, balanza analítica. Éter anhidro, arena purificada con ácido y calcinada.	Lavar el balón del aparato Soxhlet y secarlo en la estufa calentada a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante una hora. En el dedal de Soxhlet, pesar, con aproximación al 0,1 mg, 2,35 g de la muestra de harina, 2 g de arena bien seca. Colocar el dedal y su contenido en el aparato Soxhlet, agregar suficiente cantidad de éter anhidro y extraer durante 4 horas. Terminada la extracción, colocar el balón que contiene la grasa, durante 30 min, en la estufa calentada a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$; enfriar hasta temperatura ambiente en el desecador y pesar. Repetir el calentamiento por períodos de 30 min, enfriando y pesando, hasta que la diferencia entre los resultados de pesaje sucesivos no exceda de 0,2 mg.
Ceniza	La determinación de ceniza permite conocer el residuo inorgánico que queda después de calcinar el alimento, en este caso, el lactosuero. Este parámetro permite determinar la cantidad total de minerales presentes en el mismo.	Estufa ajustada a $113 \pm 5^{\circ}\text{C}$, desecador, equipo Soxhlet, pincel, dedal Soxhlet, vaso de precipitación, espátula de acero inoxidable, balanza analítica.	En un crisol previamente tarado, poner de 3 a 5 g de muestra. Colocar el crisol con muestra en un mechero y quemar lentamente el material hasta que ya no desprenda humo, evitando que se proyecte fuera del crisol. Llevar el crisol a una mufla y efectuar la calcinación completa. Dejar enfriar en la mufla, transferirlo al desecador para su completo enfriamiento y determinar la masa del crisol con cenizas. Calcular el % de ceniza.

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012) (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984)

Parámetro	Principio	Materiales y reactivos a utilizar	Procedimiento
Acidez titulable*	La acidez titulable constituye, fundamentalmente, una medida de la concentración de proteínas y de fosfatos en leches de buena calidad higiénica-sanitaria. La acidez se mide por titulación y corresponde a la cantidad de hidróxido de sodio utilizado para neutralizar los grupos ácidos. Este valor puede expresarse de diversas maneras (Negri, 2005).	Pipeta graduada de 10 cm ³ , pipeta volumétrica de 20 cm ³ , matraz Erlenmeyer de 125 cm ³ , bureta de 50 cm ³ graduada en 0.1 cm ³ . Solución 0,1 N de NaOH, fenolftaleína y agua destilada.	<p>Tarar el matraz Erlenmeyer.</p> <p>Pesar 20 g de muestra de la muestra recién preparada y transferir al matraz Erlenmeyer.</p> <p>Diluir el contenido del matraz con un volumen dos veces mayor de agua destilada, y agregar 2 cm³ de solución indicadora de fenolftaleína.</p> <p>Agregar, lentamente y con agitación, la solución 0,1 N de hidróxido de sodio, hasta conseguir un color rosado persistente.</p> <p>Agregando la solución hasta que el color rosado persista durante 30 s.</p> <p>Leer en la bureta el volumen de solución.</p>
pH**	El pH del lactosuero es una medición de la acidez real de este producto en el momento de la medición (concentración de H ⁺ libre). La medición potenciométrica del pH con un “pH-metro” es la única medida precisa. La regulación de estos aparatos se hace con soluciones buffer de pH conocido, en general se usan dos soluciones: una de pH 7 para la zona neutra y otra de pH 4 para la zona ácida.	Tubo de ensayo. Solución 0,1 N de NaOH y agua destilada.	<p>Conectar y encender el equipo a utilizar.</p> <p>Verificar que el pHmetro se encuentre calibrado.</p> <p>Colocar una pequeña cantidad de la muestra en un tubo de ensayo.</p> <p>Introducir el electrodo de medición del pHmetro dentro del tubo de ensayo con la muestra.</p> <p>Esperar a que se establezca un valor.</p> <p>Anotar el valor.</p> <p>Lavar el electrodo con agua destilada y colocarlo en su lugar, sumergido en una solución de NaOH 01N.</p>

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: *(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984) **(AOAC International, 2014)

Parámetro	Principio	Materiales y reactivos a utilizar	Procedimiento
Sólidos totales*	Es el producto de la desecación del lactosuero mediante procedimiento normalizados. Se deseca mediante evaporación y se pesa el residuo, lo que corresponde a los sólidos totales del lactosuero.	Balanza analítica sensible al 0,1 mg, cápsula de platino de fondo plano de diámetro de 50 a 60 mm y altura de 20 a 25 mm. Baño maría. Estufa. Desecador. Mufla.	Determinar por duplicado sobre la misma muestra. Lavar y secar la cápsula ajustada a 103°C durante 30 min. Dejar enfriar en el desecador y pesar con un error de aproximadamente 0,1 mg. Mezclar de 3 a 4 veces la muestra. Colocar una porción de la muestra en la cápsula (aproximadamente 5 g). Pesarla. Colocar la cápsula con la muestra a baño maría a ebullición durante 30 min. Transferir la cápsula a la estufa a 103°C y calentar durante 3 horas. Dejar enfriar en el desecador y pesar. Repetir el procedimiento de calentamiento, secado y pesada hasta que no haya disminución de la masa.
Fibra dietética total ⁺	Muestras en duplicado de alimentos secos y desgrasados son gelatinizados con α -amilasa térmicamente estable y luego digeridas enzimáticamente con proteasa y amiloglicosidasa para remover la proteína y el almidón. La fibra dietética soluble es precipitada por la adición de etanol, el residuo total se filtra, se lava, se seca y se pesa. En el residuo en duplicado se determina proteína, y en el otro las cenizas.	Balanza analítica, con sensibilidad de 0,1 mg. Baños termorregulados. Bomba de vacío. Crisol con placa porosa, porosidad N° 2 o equivalente de 40 - 60 mm. Desecador con silicagel o similar. Estufa de vacío a 70 °C. Mufla a 525 °C. Tamiz de 0,3 - 0,5 mm. Vasos de precipitados altos de 400 a 600 mL. pHmetro. Homogenizador. Etanol al 95 %. Etanol al 78 %.	Preparación de la muestra y extracción: Homogeneizar, secar y moler la muestra. Pasar por un tamiz 0,3 – 0,5 mm. Extraer el contenido de grasa (si es mayor a 10%) con éter de petróleo y anotar la pérdida de masa. Determinación: Pesar en duplicado aproximadamente 1 gramo de la muestra. Agregar 50 mL de tampón fosfato pH 6. Controlar el pH y ajustar a 6 si es necesario. Adicionar 0,1 mL de α -amilasa. Cubrir con papel aluminio, colocar en baño de agua y hervir 15 minutos a 95° o 100°C, agitar. Enfriar la solución a temperatura ambiente. Ajustar el pH a 7,5 con NaOH. Adicionar 5 mg de proteasa. Cubrir con papel aluminio e incubar 30 minutos a 60°C con agitación. Enfriar y añadir 10 mL de HCl 0,325 N. Medir pH y ajustarlo a 4,0 – 4,6.

		<p>Acetona p.a. Tampón fosfato 0,08 M, pH 6,0. Amilasa termoestable. Proteasa. Amiloglucosidasa. Hidróxido de sodio 0,275 N. Diluir a volumen con agua. Ácido clorhídrico 0,325 N Celite C - 211. Éter de petróleo.</p>	<p>Añadir 0,3 mL de amiloglucosidasa, cubrir con papel aluminio e incubar 30 minutos a 60 °C con agitación continua. Adicionar 280 mL de etanol al 95% precalentado a 60°C. Dejar precipitar a temperatura ambiente por 60 minutos. Pesar el crisol con celite, redistribuirlo con etanol al 78% y aplicar succión. Lavar el residuo con etanol al 78%. Etanol al 75% y acetona. Secar el crisol que contiene el residuo toda una noche en estufa de vacío a 70°C. Enfriar en desecador y pesar. Analizar proteínas usando Nx6,25 como factor de conversión (para un duplicado). Calcinar el residuo de la segunda muestra durante 5 horas a 525°C. Enfriar y pesar. Restar el peso del crisol y del celite para determinar cenizas. Efectuar la determinación en el blanco en duplicado.</p>
Densidad relativa ⁺⁺	<p>Es la relación de la masa de un volumen conocido de la muestra a analizar, a 20 °C, dividida por la masa de un volumen igual de agua que no contenga aire, a 20 °C (sólo el cociente, sin unidades).</p>	<p>Desecador. Baño maría. Balanza. Picnómetro Reischauer, con capacidad nominal de 50 ml, con tapón de cristal esmerilado, cuello de 6 cm de longitud y diámetro interno no superior a los 3,5 mm. Embudo, de 10 cm de diámetro. Papel filtro de pliegues. Vidrio de reloj, de 12 cm a 15 cm de diámetro.</p>	<p>Preparación de la muestra: Enjuagar el picnómetro varias veces y secarlo. Dejar enfriar en el desecador. Pesar el picnómetro en la balanza. Llenar el picnómetro con agua destilada hasta la marca y colocar la tapa. Sumergir en baño maría a 20°C durante 30 min, retirarlo, secarlo y pesarlo. Vaciar, lavar y secar el picnómetro. Colocar la muestra hasta la marca y colocar la tapa. Sumergir en baño maría a 20°C durante 30 min, retirarlo, secarlo y pesarlo. Realizar los cálculos.</p>

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: * (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984) + (Instituto de Salud Pública de Chile, 2003) ++ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012)

Parámetro	Principio	Materiales y reactivos a utilizar	Procedimiento
Sólidos solubles*	Contenido de sólidos solubles determinado por el método refractométrico: concentración de sacarosa (en porcentaje).	Refractómetro con regulador de temperatura, con escala para índice de refracción graduada y con escala para porcentaje en masa de sacarosa. Vaso de precipitación. Embudo Buchner para filtración.	Preparar la muestra. Para productos espesos pesar en el vaso de precipitado tarado 40 g de la muestra, añadir de 100 a 150 mL de agua destilada y calentar la mezcla hasta ebullición, mantener por 2 a 3 minutos agitando. Enfriar y mezclar bien. Dejar en reposo 20 minutos, pesar y filtrar en el embudo de Buchner. Recoger el filtrado y reservar. La determinación se hace por duplicado sobre la misma muestra. Ajustar la recirculación de agua del refractómetro para lograr la temperatura requerida, entre 15 y 25°C. Colocar 2 a 3 gotas de la muestra sobre el prisma fijo del refractómetro y ajustar el prisma móvil. Leer el valor del índice de refracción o el porcentaje de masa de sacarosa.
Sólidos insolubles**	Este método se basa en la eliminación de los azúcares de la muestra para obtener un residuo insoluble en agua.	Balanza analítica. Vaso de precipitado de 250 mL. Crisol fino (tamaño de poros de 15-40 micras). Estufa con regulador de temperatura. Desecador.	Preparación de la muestra: si la muestra es líquida, homogeneizar. Si hay impurezas o sustancias extrañas, calentar la muestra en baño maría hasta 40°C y filtrarla a través de un lienzo. La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la muestra convenientemente homogeneizada. Pesar 20g de la muestra con precisión al centésimo más próximo, y disolverla en una cantidad adecuada de agua destilada a 80 °C y mezclar bien. Determinación gravimétrica. Filtrar la muestra en ensayo a través de un crisol fino de vidrio sinterizado, previamente secado y tarado, y lavarlo a fondo con agua caliente (80 °C) hasta eliminar los azúcares (ensayo de Mohr). Dejar secar el crisol durante una hora a 135 °C, enfriar y pesar con una aproximación al 0,1 mg. Realizar los cálculos.

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: * (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1985) ** (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1989)

Tabla 7-3: Fundamentos de los análisis microbiológicos evaluados en el lactosuero y en producto terminado

Parámetro	Fundamento	Resumen del método
Recuento de microorganismos mesófilos ufc/g	Microorganismos aerobios mesófilos son aquellos microorganismos que se desarrollan en presencia de oxígeno libre y a una temperatura comprendida entre 20°C y 45°C con una zona óptima entre 30°C y 40°C. REP es el recuento de microorganismos aerobios mesófilos por gramo o centímetro cúbico de muestra de alimento.	Este método se basa en la certeza de que un microorganismo vital presente en una muestra de alimento, al ser inoculado en un medio nutritivo sólido se reproducirá formando una colonia individual visible. Para que el conteo de las colonias sea posible se hacen diluciones decimales de la suspensión inicial de la muestra y se inocula el medio nutritivo de cultivo. Se incuba el inóculo a 30°C por 72 horas y luego se cuenta el número de colonias formadas. El conteo sirve para calcular la cantidad de microorganismos por gramo o por centímetro cúbico de alimento.
Recuento de <i>Escherichia coli</i> ufc/g	<i>Escherichia coli</i> presuntiva. Bacteria perteneciente al grupo de los coliformes fecal capaz de fermentar lactosa a 44 °C con producción de gas, es capaz de producir indol a partir de triptófano, reacciona positivamente a la prueba de rojo de metilo y negativo a la prueba de Voges Proskauer y no usa el citrato como única fuente de carbono. Recuento de <i>Escherichia coli</i> presuntiva. Es el número más probable de <i>Escherichia coli</i> por mililitro o por gramo de la muestra problema. IMVIC es una prueba utilizada en biología para la identificación bacterias. Se compone de cuatro pruebas: Indol, Rojo de metilo, Voges-Proskauer y Citrato. El resultado de este test se expresa mediante símbolos de positivo o negativo (+ o -) según el resultado de cada prueba.	Método de detección de coliformes: Los tubos que presentan opacidad o producción de gas en el medio líquido de enriquecimiento selectivo y cuyos subcultivos han producido gas en Caldo EC e indol en agua de peptona a 44 °C se considera que contienen <i>Escherichia coli</i> presuntiva. Método de enumeración: El número más probable de <i>Escherichia coli</i> presuntiva es determinado por medio de la tabla MPN (número más probable), acorde con el número de tubos con medios de concentración simple o doble cuyos subcultivos han producido gas in el caldo EC e indol en agua peptonada a 44°C.

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2006) (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015)

Parámetro	Fundamento	Resumen del método
<i>Staphylococcus aureus</i> ufc/g *	Esta norma establece el método de recuento en placa de siembra por extensión en superficie para determinar el número de células viables de <i>S aureus</i> coagulase positivos, presentes en un gramo o centímetro cubico de muestra de alimento. Este método es indicado para productos de consumo humano y de alimentación animal que contengan una alta carga de estafilococos coagulasa positivos. Para efectos de esta norma, se adoptan las siguientes definiciones: <i>Staphylococcus aureus</i> : Especie bacteriana perteneciente a la familia Micrococcaceae y al género <i>Staphylococcus</i> , cuyos miembros tienen la forma de cocos que generalmente se agrupan formando racimos, inmóviles, Gram positivos, aerobios y anaerobios facultativos, temperatura optima 37°C. producen un pigmento amarillo dorado, son halotolerantes. Poseen las enzimas coagulasa, fosfatasa y desoxirribonucleasa que le distinguen de otros estafilococos. Producen exotoxinas: hemolisina y entero toxina. Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> : Es la determinación del número de células viables de <i>Staphylococcus aureus</i> presentes en un gramo o centímetro cubico de muestra, utilizando medios selectivos.	Para el objeto de esta norma se utiliza el agar Baird-Parker. Este método se basa en el acentuado paralelismo que existe entre la producción de coagulasa por parte del <i>S.aureus</i> y su capacidad de utilizar la lipoproteína de la yema de huevo y de reducir el telurito a telurio. Las capas que presenten una reacción negativa de la coagulasa, o débilmente positiva, pueden ser distinguidas de otras bacterias mediante un ensayo adicional, por ejemplo, la detección de termonucleasa.
Coliformes totales**	Coliformes. (coliaerógenos). Bacterias de forma bacilar, Gram negativas, aerobias y anaerobias facultativas, móviles e inmóviles, no esporuladas que forman colonias características agar Cristal Violeta neutro bilis (V R B) o similar cuando se incuban a 30 ± 1°C los productos refrigerados y a 30 ± 1°C los productos que se mantienen a temperatura ambiente y se utiliza el medio y método descrito. Este grupo es utilizado como indicador del grado de higiene. 3.1.2 Recuento de coliformes. Es la determinación del número de coliformes viables por gramo o cm3 de muestra de alimento.	Este método utiliza la técnica del recuento en placa por siembra en profundidad en agar Cristal Violeta-rojo neutro bilis (V R B) o similar y una temperatura de incubación de 30 ± 1°C para productos refrigerados y 30 ± 1°C para productos que se mantienen a temperatura ambiente, por 24 ± 2h.

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: * (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) ** (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013)

Parámetro	Fundamento	Resumen del método
Salmonella/25g	<p>Esta norma describe el método de ensayo para detectar Salmonella en alimentos. Este método no es cuantitativo y solo es aplicable para determinar la presencia o ausencia de Salmonella en los alimentos, en general. Salmonella. Género perteneciente a la familia Enterobacteriaceae. Está integrado por microorganismos que forman colonias típicas sobre medios selectivos sólidos y poseen características bioquímicas y serológicas definidas. Generalmente son móviles, Gram negativas, fermentan la glucosa con formación de gas y no fermentan la lactosa. Detección de Salmonella. Es la determinación de la presencia o ausencia de estos microorganismos en una determinada masa, cuando el ensayo es realizado según el método prescrito. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)</p>	<p>Las salmoneras, cuando están presentes en los alimentos, generalmente lo están en pequeños números, algunas veces debilitadas y frecuentemente acompañadas de un gran número de otros miembros de Enterobacteriaceae, por tanto, en este método se considera las siguientes etapas: Pre-enriquecimiento. Cultivo de la muestra a 37° C en medios mínimos sencillos, exentos de agentes químicos selectivos a fin de lograr la revitalización de las salmonelas lesionadas. Enriquecimiento selectivo. Subcultivo a 37° C y entre 42 a 43° C, en medios líquidos selectivos del cultivo pre-enriquecido, para inhibir o restringir el crecimiento de la flora competitiva y favorecer la multiplicación de las salmonelas. Siembra en placa de medios selectivos sólidos. Inoculación de los cultivos de enriquecimiento selectivo en la superficie de agares selectivos y diferenciales, para visualizar las colonias que por su aspecto característico se las considera como de Salmonella presuntiva. Identificación. Subcultivo de las colonias de Salmonella presuntiva y determinación de sus características bioquímicas y serológicas para identificarlas como miembros del género Salmonella.</p>

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

Parámetro	Fundamento	Resumen del método
Detección de <i>Listeria monocytogenes</i>	<p>El presente procedimiento tiene como objetivo describir la metodología llevada a cabo para realizar la detección, aislamiento e identificación de <i>Listeria monocytogenes</i> en muestras de alimentos. Todas las especies de <i>Listeria spp.</i> son bacilos cortos Gram positivos móviles, catalasa positivos. (RENALOA, 2011)</p>	<p>Enriquecimiento primario Siembra de la muestra en el medio de enriquecimiento líquido selectivo Caldo Half Fraser que contiene una concentración reducida de agente selectivo (un volumen de cloruro de litio y la mitad de volumen de acriflavina y ácido nalidíxico). Incubación a 30°C durante 24 h. Enriquecimiento secundario: Inoculación del medio de enriquecimiento líquido selectivo Caldo Fraser (que contiene una concentración completa de agente selectivo) con el cultivo obtenido en la parte anterior. Incubar a 35°C ó 37°C durante 48 h. Estriado en placa e identificación: A partir de los cultivos anteriores estriar en los dos medios sólidos selectivos: - Agar <i>Listeria</i> de acuerdo a Ottaviani y Agosti (ALOA) - Segundo medio sólido selectivo a elección del laboratorio complementario al ALOA, como por ejemplo Oxford o PALCAM. Incubar el ALOA a 37°C ± 1°C y revisar después de 24 h ± 3 h y si es necesario incubar por 24 h ± 3 h más para observar las colonias características de <i>Listeria monocytogenes</i>. Incubar el segundo agar selectivo de acuerdo a las indicaciones del fabricante. Confirmación: Aislamiento de las colonias sospechosas de <i>L. monocytogenes</i> obtenidas en la parte anterior y confirmación por características morfológicas y propiedades bioquímicas.</p>

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2017)

3.2.5. Resultados de la caracterización del lactosuero como materia prima.

Los resultados de la caracterización del lactosuero que posteriormente fue utilizado para la producción del jarabe se muestra en la Tabla 8-3 y su caracterización microbiológica se muestra en la Tabla 9-3 (Los resultados originales se muestran en el Anexo B y C). El examen físico indica que el lactosuero presentó un color amarillento, un olor lácteo característico, y su aspecto general era homogéneo y libre de sustancias extrañas.

Tabla 8-3: Resultados de la caracterización fisicoquímica del lactosuero

Parámetro	Unidad	Método Analítico		Valor de la Muestra	Norma NTE INEN 2594			
		Norma	Referencia		Suero de leche dulce		Suero de leche ácido	
					Min	Max	Min	Max
Lactosa	%	AOAC 984.15	(AOAC International, 2016)	4.1	---	5.0	---	4.3
Proteína	%	NTE INEN 16	(Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2015)	0.87	0.8	---	0.8	---
Grasa	%	NTE INEN 12	(Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2013)	0.28	---	0.3	---	0.3
Ceniza	%	NTE INEN 14	(Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1984)	0.55	---	0.7	---	0.7
Acidez	%	NTE INEN 13	(Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1984)	0.421	---	0.16	0.35	---
pH	Unidad	AOAC 973.41	(AOAC International, 2016)	6.4	6.8	6.4	5.5	4.8
Glucosa	Mg/ dL	-----	(Wiener, 2000)	50	---	---	---	---

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Como se observa en la Tabla 8-3 el examen bromatológico del lactosuero utilizado como materia prima en el presente estudio presenta parámetros que permiten catalogarlo como suero de leche dulce o suero de leche ácido, ya que cumplen con lo establecido en la Norma INEN 2594 para

ambos casos en los siguientes análisis: porcentaje de lactosa, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa y porcentaje de ceniza.

En función del resultado de acidez, el lactosuero se considera ácido, pero en cuanto al pH puede considerarse del tipo dulce. Según información directa de la planta productora de lácteos San José, las características del lactosuero son variables, por lo que puede generarse un lactosuero con tendencia a ser del tipo dulce o ácido, o presentar análisis bromatológicos divergentes como en el caso de lo observado en la Tabla 8-3.

El análisis de glucosa de la materia prima (lactosuero) permite realizar la comparación de este parámetro con el valor resultante luego de la hidrólisis, y de esa manera, verificar el rendimiento de la reacción, y garantizar que, efectivamente, se obtenga un producto con un nivel de glucosa adecuado para la formulación del jarabe de suero.

Tabla 9-3: Resultados de la caracterización microbiológica del lactosuero

Parámetro	Unidad	Método Analítico		Valor	Norma NTE INEN 2594	
		Norma	Referencia		Suero de leche	
					Min	Max
Recuento de m.o. aerobios mesófilos totales	UFC/g	NTE INEN 1529-5	(Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2006)	97x10 ³	30x10 ³	10x10 ⁴
Recuento de <i>Escherichia coli</i>	UFC/g	NTE INEN 1529-8	(Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2015)	8	<10	----
<i>Staphylococcus aureus</i>	UFC/g	NTE INEN 1529-14	(Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2013)	75	<100	100
<i>Salmonella</i> / 25g	Ausencia/ Presencia	NTE INEN 1529-15	(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1996)	Ausencia	----	----
Detección de <i>Listeria monocytogenes</i> / 25g	Ausencia/ Presencia	NTE INEN ISO 11290-1	(Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1996)	Ausencia	----	----

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

La Tabla 9-3 presenta los resultados del análisis microbiológico donde se reportan los valores de recuento de aerobios mesófilos, recuento de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* y *Listeria monocytogenes*, en todos los casos se obtuvieron resultados que se adecuan a los establecido en las correspondientes normas.

3.2.6. Selección de la materia prima

La selección de la materia prima es una fase fundamental para llevar a cabo una exitosa transformación del lactosuero en jarabe de suero. Es necesario destacar que, para la producción de este producto, los parámetros más importantes a verificar son el pH y la caracterización microbiológica.

El pH incide directamente sobre la acción de la enzima β -galactosidasa de *Kluyveromyces lactis* (actividad relativa, %) utilizada para llevar a cabo adecuadamente la hidrólisis enzimática del lactosuero. En este sentido, y en función de lo establecido en la ficha técnica de la misma (Ver anexo D) el pH que presenta la mayor actividad relativa es 6 (superior al 96%), un pH de 6,4 genera una actividad relativa de aproximadamente 90%, así que representa un excelente valor para llevar a cabo la hidrólisis enzimática, y así obtener un alto rendimiento en la reacción y, por ende, un alto porcentaje de jarabe. Es necesario destacar que esta enzima trabaja en un amplio rango de pH ($5.5 < \text{pH} < 8.5$) que no incluye los valores típicos del suero de leche ácido, así que dicho suero no es recomendable como materia prima para este tipo de proceso. Si el lactosuero presenta un valor de pH inferior a 5.5 puede adicionarse CaCl_2 para ajustar este parámetro (Souza, et al., 2008).

En cuanto al análisis microbiológico se evidenció que todos los parámetros evaluados se encuentran dentro de lo establecido en la respectiva norma NTE INEN e ISO, por lo que este lactosuero es apto para llevar a cabo su procesamiento para la producción de jarabe de suero (Tabla 8-3).

3.2.7. Ensayos a nivel de laboratorio para la producción de jarabe de suero

Previo al inicio de los ensayos de laboratorio se llevó a cabo la caracterización del lactosuero obteniéndose que el mismo presenta parámetros que pudieran catalogarlo de suero ácido o suero dulce. En el caso específico de esta investigación los parámetros más importantes de verificar fue el pH y el porcentaje de lactosa, los cuales se encontraban en niveles adecuados para llevar a cabo la hidrólisis sin ningún tratamiento previo. Por otra parte, todos los parámetros cumplieron con los límites establecidos en la norma para productos lácteos.

Se realizaron ocho (8) ensayos de laboratorio en función de la metodología prevista con el fin de ajustar el procedimiento metodológico.

A continuación, se detallan los materiales, reactivos e insumos, necesarios para llevar a cabo la producción del jarabe de suero, así como el procedimiento, paso a paso, para la transformación y formulación del producto a nivel de laboratorio. La metodología para la hidrólisis del lactosuero ha sido adaptada en función a lo establecido en Ortiz (2016).

3.2.7.1. Materiales, reactivos e insumos

Los materiales, reactivos e insumos utilizados para la elaboración del lactosuero fueron los indicados en la tabla 10-3.

Tabla 10-3: Materiales, reactivos e insumos

Material	Descripción
Papel de filtro Whatman grado 1	Papel utilizado como tamiz para separar partículas sólidas de una matriz líquida. El papel de filtro Whatman 1 es del tipo cualitativo que retiene partículas de tamaños superiores a 11 μm .
Embudo	Instrumento que permite la canalización y trasvase de líquidos. En este caso se utilizó para el proceso de filtrado.
Matraz	Recipiente de vidrio de base circular, forma cónica y cuello cilíndrico donde se deposita la materia prima filtrada.

Vaso de precipitado (1 L)	Recipiente de vidrio de forma cilíndrica y base plana donde se llevó a cabo la reacción de hidrólisis.
Pipeta volumétrica de (5 mL)	Instrumento utilizado para medir con exactitud pequeñas cantidades de líquido.
Reverbero	Hornilla portátil
Termómetro	Instrumento para la medición de temperatura. Rango 0- 150 °C.
Lactosuero (1 L)	Material lácteo. Subproducto de la elaboración del queso.
Enzima β -galactosidasa (4,4 mL)	Proteína con acción catalítica sobre el sustrato Lactosa.
Carboximetilcelulosa (CMC) (5 g)	Hidrocoloide utilizado en la industria alimenticia como aditivo estabilizante.
Goma Xanthan (5 g)	Polisacárido extracelular producido por la bacteria <i>Xanthomonas campestris</i> B-1459 utilizado para espesar y estabilizar el producto elaborado.
Azúcar (100 g)	Nombre común de la sacarosa. Complementa el sabor “dulce” del jarabe.
Sorbato de potasio	Conservante de alimentos.

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

3.2.7.2. Descripción del procedimiento a nivel de laboratorio

El procedimiento para la elaboración del jarabe de suero se presenta a continuación:

- Recepción de la materia prima (lactosuero).



Figura 3-1: Recepción del Lactosuero
Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

- Medición de pH de la materia prima.

- Filtrado: El lactosuero es filtrado para eliminar cualquier sólido suspendido presente en esta materia prima.



Figura 4-3: Filtrado del Lactosuero
Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

- Pasteurización: llevar el lactosuero a 85°C para eliminar los microorganismos presentes en el mismo.



Figura 5-3: Pasteurizado del Lactosuero
Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

- Enfriamiento: Enfriar la mezcla hasta 40°C.



Figura 6-3: Enfriado del Lactosuero
Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

- Hidrólisis: Añadir 4,4 mL de la enzima por litro de lactosuero. Agitar la mezcla. El tiempo de reacción es de aproximadamente una hora a temperatura constante (40°C) para romper la cadena de Lactosa.



Figura 7-3: Suero hidrolizado
Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

- Enfriamiento: La reacción se detiene al disminuir la temperatura a valor ambiental

(aproximadamente 20°C).

- Medición del pH del producto de la hidrólisis.



Figura 8-3: Enfriamiento del Lactosuero
Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

- Formulación del jarabe: Se adicionan los aditivos para un litro de jarabe: CMC (5g), goma Xanthan (5g), azúcar (100g).



Figura 9-3: Jarabe de suero con aditivos
Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

- Espesamiento: Se agita la mezcla por aproximadamente media hora hasta observar que la misma comienza a aumentar su viscosidad.



Figura 10-3: Espesamiento
Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

- Aditivos finales: Se adicionan saborizantes y colorantes en función del producto a elaborar: saborizante de 6 a 8 gotas por litro, colorante: de 3 a 4 gotas por litro.



Figura 11-3: Jarabe de suero con saborizante y colorante
Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

- Una vez alcanzado el punto de gelificación, se agrega el conservante (sorbato de potasio). Este debe diluirse con una mínima cantidad de agua. Una vez que esté totalmente disuelto, se agrega directamente al suero. El porcentaje de conservante a agregar no debe exceder al 0.05% del peso del jarabe.



Figura 12-3. Pesada del conservante
Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

- Envasado: El jarabe obtenido se coloca en su envase correspondiente.
- Conservación: El jarabe de suero debe mantenerse refrigerado a 4°C, para una mejor incorporación de los espesantes (CMC y goma Xanthan) mezclarlo con azúcar.

3.2.7.3. Resultados de la caracterización del producto de la hidrólisis a nivel de laboratorio

En la siguiente tabla se indican los resultados del valor de glucosa obtenido luego de la hidrólisis de la materia prima.

Tabla 11-3: Resultados del valor de glucosa obtenido luego de la hidrólisis de la materia prima.

Ensayo	Método	Unidad	Resultado	
Azúcares totales	INEN 266:2012 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012)	%		6,20
Glucosa (laboratorio) (densidad: 1.025) (pH: 5)	----	mg/dL	480	487,33
			484	
			498	

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

3.2.8. Variables y parámetros del proceso para la producción de jarabe de suero

Las principales variables y parámetros tomados en cuenta para el desarrollo del proceso planteado en esta investigación, que a su vez inciden directamente sobre la actividad de la enzima fueron las siguientes:

- Temperatura.
- Tiempo de reacción.
- pH.
- Calidad y cantidad de sustrato.
- Enzima.

En la tabla 12-3 se muestran las variables y parámetros que se controlaron en cada fase del proceso operativo.

Tabla 12-3: Fases de Operación del proceso de producción del jarabe de suero

Proceso	Descripción	Variable o Parámetro	Rango
Lavado del equipo	Operación de limpieza de todas las partes del equipo para iniciar el proceso de producción	---	---
Recepción de la materia prima	Recibir el lacteosuero de los diferentes distribuidores	pH	6,4
Filtrado	Retención de las partículas de dimensiones superiores a 11 μm por medio de un papel de filtro Wathman.	---	---
Pasteurizado	Proceso térmico al cual se somete el lactosuero con el fin de eliminar microorganismos sin modificar las propiedades organolépticas de dicha sustancia.	Temperatura	85°C
Enfriamiento	Operación mediante la cual se disminuye la temperatura del producto de la hidrólisis con el fin de detener la reacción y realizar la formulación del producto final.	Temperatura	20°C
Hidrólisis	Ruptura de la lactosa en glucosa y galactosa con la ayuda de la enzima Enzima β -galactosidasa <i>Kluyveromyces lactis</i> .	Temperatura	40 °C
Espesamiento	Operación que permite aumentar la viscosidad del producto con el fin de presentar características apropiadas para su consumo y comercialización.	Tiempo	½ hora
Conservación	Procedimiento para preservar las propiedades del producto final por más tiempo que en su estado natural.	Temperatura	4°C
Envasado	Operación de llenado y empaquetado del producto para su posterior comercialización	---	---

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

3.2.8.1. Temperatura

En general los procesos enzimáticos son a temperatura constante (isotérmicos). Esto se debe a que la energía de reacción no es un parámetro de importancia en este tipo de procesos (Ladero, 1999). A pesar de ello, la temperatura que se elija si originará mejores o peores rendimientos de reacción. En el caso de la enzima utilizada en este trabajo (β -galactosidasa) la relación entre la temperatura, dosis de enzima, tiempo y rendimiento de la reacción se presenta en el manual de la misma (Anexo D). Se observa que la temperatura más recomendable es 40°C, ya que se obtiene un alto rendimiento en menor tiempo.

La temperatura también juega un factor fundamental para el proceso de inactivación de la enzima, lo que detiene la reacción de hidrólisis. En este caso, cuando ha transcurrido el tiempo de reacción, la temperatura se disminuyó a 20°C y en ese momento puede considerarse que la reacción de hidrolización ha finalizado.

3.2.8.2. Tiempo de reacción

La cinética enzimática estudia la velocidad de las reacciones catalizadas por enzimas. Estos estudios proporcionan información directa acerca del mecanismo de la reacción catalítica y de la especificada de la enzima (Sosa & Galvis, 2010). Estas reacciones en muchos casos ocurren en reactores discontinuos y la enzima se adiciona para que actúe durante un tiempo determinado (Ladero, 1999). Por lo que el tiempo es una variable importante de este proceso de hidrolizado.

Cuando debe obtenerse un alto grado de hidrólisis en un corto período de tiempo, se recomienda una temperatura de reacción de 30-45°C (Ladero, 1999). En este estudio la temperatura de reacción se estableció en 40°C por lo que, en función de los datos suministrados por la ficha técnica de la enzima, la reacción pudiera transcurrir en 1 ó 4 horas en función de la dosis de la β -galactosidasa.

3.2.8.3. pH

El pH, al igual que la temperatura definirá el grado de actividad de la enzima y, por consiguiente, el rendimiento de la reacción. Como se comentó en el caso de la temperatura, la ficha técnica establece el rango de pH idóneo para llevar a cabo la reacción. Valores de pH entre 5,8 y 7,5 garantizan una actividad relativa superior al 60% (Ver anexo D). pH por debajo de 5,5 originan una actividad casi nula de la enzima y por encima de 7,5 va disminuyendo, hasta alcanzar un valor mínimo (10% de actividad) en 8,5. Otros autores (Ramirez & Rivas, 2003) encontraron la mayor actividad enzimática en un pH de 6,2.

3.2.8.4. Calidad y cantidad de sustrato

Las levaduras del género *Kluyveromyces*, poseen un sistema lactosa-permeasa. En esta investigación la concentración de lactosa en el lactosuero fue de 4,1%, lo cual resulta un valor cercano a los hallazgos de Araujo y otros (2007) por lo que esta variable no fue modificada para llevar a cabo la reacción de hidrólisis.

3.2.8.5. Enzima

Las enzimas son proteínas con acción catalítica sobre determinados compuestos llamados sustratos (Ladero, 1999). También conocidas como lactasas o más formalmente como 3-D-galactosido galactohidrolasas, las β -galactosidasas se encuentran en el intestino de los mamíferos jóvenes y también en ciertos microorganismos. Su sustrato natural es la lactosa y son enzimas capaces de hidrolizarla e incluso, en ciertas condiciones, de cambiar la glucosa de este azúcar por otro grupo aglicón presente en el medio, en una reacción conocida como transgalactosidación (Ladero, 1999), las principales fuentes de β -galactosidasas se presentan en el Anexo E.

Esta enzima es la responsable de la hidrólisis de la lactosa en galactosa y glucosa teniendo este último más poder edulcorante que la lactosa, por lo que ha sido escogida en este estudio con el fin de obtener glucosa a partir del lactosuero. En este estudio se escogió la β -galactosidasa obtenida a

partir de la levadura *Kluyveromyces lactis* debido a su alta actividad enzimática en las condiciones iniciales del lactosuero y por su relación rendimiento/costo. En el anexo D se presenta la tabla que permite establecer las condiciones de operación según los objetivos propuestos y la calidad de la materia prima (lactosuero).

3.2.9. Operaciones a nivel industrial para la producción de jarabe de suero

3.2.9.1. Cálculos de ingeniería

3.2.9.2. Cálculo para el dimensionamiento de la marmita

Volumen de lactosuero a procesar:

$$V = 250 \text{ L}$$

Volumen de la marmita considerando el factor de seguridad:

$$V_m = 250 \text{ L} * 1.15 = 287.5 \text{ L} \quad \text{Ec. 1}$$

Se recomienda un volumen de marmita de 300 L.

Cálculo del radio de la marmita:

Para el cálculo del radio de la marmita se utiliza la ecuación 2, suponiendo un diámetro interno de 0.65 m.

$$r_m = \frac{d_i}{2} \quad \text{Ec.2}$$

$$r_m = \frac{0.65 \text{ m}}{2} = 0.325 \text{ m}$$

Altura de la marmita:

$$h_m = \frac{V}{\pi r^2} \quad \text{Ec. 3}$$

$$h_m = \frac{287,5 \text{ L} * \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}}}{\pi(0.325\text{m})^2} = 0.866 \text{ m}$$

Área de la marmita:

$$A_m = 2\pi r (h_m + r) \quad \text{Ec. 4}$$

$$A_m = 2\pi(0.325\text{m})(0.866 \text{ m} + 0.325 \text{ m}) = 2.43 \text{ m}^2$$

Longitud del brazo del agitador:

$$L_B = \frac{5}{8} d_i \quad \text{Ec. 5}$$

$$L_B = \frac{5}{8} (0.65\text{m}) = 0.41 \text{ m}$$

Espesor del rodete:

$$E_R = \frac{1}{10} L_B \quad \text{Ec. 6}$$

$$E_R = \frac{1}{10} (0.41\text{m}) = 0.041 \text{ m}$$

Diámetro del rodete:

$$d_R = \frac{3}{4} d_i \quad \text{Ec. 7}$$

$$d_R = \frac{3}{4} (0.65\text{m}) = 0.49 \text{ m}$$

Distancia entre el fondo del tanque y el rodete:

$$X = h - L_B \quad \text{Ec. 8}$$

h = Altura del líquido (m). Para el cálculo de la altura del líquido se utilizó la ecuación 3 considerando un volumen de 250 L.

$$X = 0.75\text{m} - 0.41\text{m} = 0.34 \text{ m}$$

Alto de la paleta:

$$A_P = \frac{1}{5} L_B \quad \text{Ec. 9}$$

$$A_P = \frac{1}{5} (0.41m) = 0.082 m$$

Distancia entre paletas:

$$X_P = \frac{L_B}{4} \quad \text{Ec. 10}$$

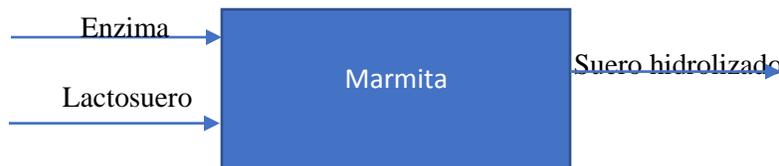
4 = Número de palas planas del agitador.

$$X_P = \left(\frac{0.41m}{4} \right) = 0.10 m$$

De acuerdo con lo establecido en la Ley de Conservación de Masas “La masa no se crea, ni se destruye, sólo se transforma”, por lo tanto, en una reacción química la suma de la masa de los reactivos es igual a la suma de la masa de los productos. Por lo tanto, el balance general en la marmita utilizada en esta investigación es el siguiente:

$$\text{Entrada} = \text{Salida} - \text{Acumulación}$$

Se considera que las pérdidas por evaporación son despreciables.



$$\text{Masa lactosuero} + \text{Masa enzima} = \text{Masa suero hidrolizado}$$

Masa lactosuero:

$$m_L = \rho * V \quad \text{Ec. 11}$$

$$m_L = 1.025 \frac{kg}{L} * 250L = 256.25 kg$$

Masa de la enzima:

Utilizando la ecuación 11 y considerando que la densidad de la enzima es 1.15 kg/L:

$$m_e = 1.15 \frac{kg}{L} * 1.1L = 1.265 kg$$

Balance:

$$256.25 kg + 1.265 kg = 257.515 kg$$

3.2.9.3. Balance de energía**Calor transferido por el metal:**

$$Q_{metal} = k * A * \Delta T \quad \text{Ec. 12}$$

$$Q_{metal} = k * A * (T_p - T_F)$$

$$A = 2 * \pi * (0.25 m) (1.46 m) = 2.3 m^2$$

$$Q_{metal} = (16.3 W/m^2 \cdot ^\circ C) * 2.3 m^2 * (40-20)^\circ C * \frac{1 Kcal/h}{1.163 W} = 644.71 Kcal/h$$

Calor necesario para calentar el lactosuero:

$$Q_{cal} = Q_{H_2O} + Q_{metal} \quad \text{Ec. 11}$$

$$Q_{cal} = 23.88 Kcal/h + 644.71 Kcal/h = 668.59 Kcal / h$$

Coefficiente de transferencia de calor (U):

$$Q_{cal} = U * A * \Delta T \quad \text{Ec. 15}$$

$$U = \frac{668.59 Kcal/h}{2.3 m^2 * 20K} = 14.53 \frac{Kcal}{m^2 \cdot h \cdot K} = 16.9 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Eficiencia del reactor (η):

$$\eta (\%) = \frac{668.59 Kcal/h - 23.88 Kcal/h}{668.59 Kcal/h} * 100 = 96.4\% \quad \text{Ec. 16}$$

En la Tabla 13-3 se muestra un resumen de los parámetros calculados en el balance de masa y energía.

Tabla 13-3: Resumen de parámetros calculados de diseño, balances de masa y energía

Parámetro	Valor
Volumen de lactosuero a procesar	250 L
Volumen de la marmita	300 L
Radio de la marmita	0.325 m
Altura de la marmita	0.866 m
Área de la marmita	2.43 m ²
Longitud del brazo del agitador	0.41 m
Espesor del rodete	0.041 m
Diámetro del rodete	0.49 m
Distancia entre el fondo del tanque y el rodete	0.34 m
Alto de la paleta	0.082 m
Número de palas planas del agitador	4
Potencia del agitador	1 Hp
Masa de lactosuero	256.25 kg
Masa de la enzima	1.265 kg
Calor transferido por el metal	644.71 Kcal/h
Calor necesario para calentar el lactosuero	668.59 Kcal/h
Coefficiente de transferencia de calor (U)	16.9 W/m ² . K
Eficiencia del reactor (η)	96.4%

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

3.2.10. Validación del proceso

3.2.10.1. Pruebas de ensayo semindustrial

A partir de los resultados a nivel de laboratorio se llevó a cabo las pruebas de ensayo semindustrial. Tal y como se realizó para las pruebas iniciales se caracterizó el lactosuero obteniéndose que el mismo presenta parámetros que pudieran catalogarlo de suero ácido o suero dulce. Tal y como se efectuó en el laboratorio los parámetros más importantes de verificar fueron el pH y el porcentaje de lactosa, los cuales se encontraban en niveles adecuados para llevar a cabo la hidrólisis sin ningún tratamiento previo. Por otra parte, todos los parámetros cumplieron con los límites establecidos en la norma para productos lácteos.

A nivel semindustrial se llevó a cabo un ensayo en una marmita de 10 L de volumen, con el fin de validar los resultados obtenidos a escala de laboratorio. El procedimiento que se llevó a cabo en la marmita coincidió con los pasos establecidos en el laboratorio. La agitación fue del tipo mecánica. Para este proceso se verificó el valor de glucosa inicial y final, y así comparar con los resultados de laboratorio. Finalmente, se agregaron los aditivos al producto de la hidrólisis para obtener el jarabe de suero para consumo final. En este último ensayo se realizó la caracterización completa del producto obtenido (jarabe de suero).

Durante la ejecución del proceso se mantuvo control y supervisión constante de la temperatura, para garantizar que la misma se mantuviera constante en el valor establecido.

Las variables y parámetros controladas durante el proceso de validación del proceso de producción del jarabe de suero son similares a las presentadas en la Tabla 3-13. En los Anexos F, G, H, I y J se muestran fotografías de este proceso.

3.2.10.2. Análisis nutricional del producto

En la Tabla 14-3 se muestran los resultados en cuanto a azúcares totales y concentración de glucosa del producto final de la hidrólisis y en la Tabla 15-3 los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos determinados al jarabe de suero. Para ello se determinó: porcentaje de cenizas, porcentaje de proteína, sólidos totales, fibra dietética total, carbohidratos totales, energía, grasa, pH, acidez, densidad relativa, sólidos solubles, sólidos insolubles, azúcares totales y glucosa. En cuanto a los parámetros microbiológicos; coliformes totales y fecales. Los resultados originales se encuentran en los Anexos K, L, M y N.

Tabla 14-3: Resultados de la caracterización del producto de la hidrólisis (Suero hidrolizado)

Ensayo	Método	Unidad	Resultado
Azúcares totales	INEN	%	6,20
Glucosa (Semindustrial) (densidad: 1.025) (pH: 5)	----	mg/dL	494

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 15-3: Resultados de la caracterización del jarabe de suero

Ensayo	Método	Unidad	Resultado
Cenizas	AOAC 920.181 Ed 20, 2016*	%	1,24
Proteína	AOAC 962.18 Ed 20, 2016*	% (Nx6,25)	2,89
Sólidos totales	AOAC 925.45 Ed 20, 2016*	%	71,9
Fibra dietética total	AOAC 985.29 Ed 20, 2016*	%	0,498
Carbohidratos totales	Cálculo	%	62,6
Energía	Cálculo	kJ/100 g	1272
		Kcal / 100g	304
Grasa	PE08-5.4-FQ AOAC Ed 20, 2016*	%	4,66
pH	AOAC 942.15 Ed 20, 2016*	Unidades de pH	6,54
Acidez	AOAC 942.15 Ed 20, 2016*	mg/100g Ácido cítrico	0,147
Densidad relativa	INEN 391. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012)	Adimensional	2,275

Sólidos solubles	AOAC 932.12 / INEN 380*	°Bx	68
Sólidos insolubles	INEN 1635. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1989)	%	5,70
Coliformes totales	INEN 1529-7. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013)	UFC/ml	Ausencia
Coliformes fecales	INEN 1529-8. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015)	UFC/ml	Ausencia

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: *(AOAC International, 2016)

Es necesario destacar que no existe una norma INEN que establezca los parámetros (máximo, mínimo o un rango) a cumplir por este producto, de allí que no se pueda hacer una comparativa entre los valores obtenidos y un estándar, a pesar de ello en la Tabla 16-3 se muestran algunos parámetros fisicoquímicos de jarabe de glucosa importado al Ecuador (Proaño & Serrano, 2015) ya que este producto no es elaborado en el país (Donoso, 2014).

Se observa que los sólidos Brix, los sólidos totales y los carbohidratos obtenidos en esta investigación están por debajo de los valores presentados en la Tabla 15-3, en este sentido, un proceso de concentrado del suero hidrolizado permitiría ajustar estos parámetros, previo a la etapa de formulación del jarabe, y de esta manera, se garantiza un producto final con especificaciones similares a las comerciales. En el caso del pH obtenido, está por encima de lo verificado en la formulación comercial, a pesar de ello esta diferencia no afecta significativamente los usos posteriores que pueden darse al jarabe de glucosa. En cuanto al contenido energético, las calorías de ambas formulaciones se encuentran en el mismo orden.

Tabla 16-3: Propiedades del jarabe de glucosa comercializado en el Ecuador

Propiedades fisicoquímicas		
	Min.	Máx.
Sólidos Brix (%) a 20°C	82,8	83,9

Dextrosa equivalente (%)	38,0	42,0
pH	4,8	5,2
Contenido de SO ₂ (ppm)	100	250
Color		1,0
Baumé (140/60°F)	43,0	43,5
Información sensorial		
Aspecto	Líquido viscoso traslúcido	
Olor	Característico	
Sabor	Ligeramente dulce	
Información nutricional		
Calorías	324	
Sólidos totales (%)	81	
Carbohidratos (%)	81	

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Fuente: (Proaño & Serrano, 2015)

Otro estudio (Rivera, et al., 2000) donde estudiaron la composición de 25 jarabes comerciales, recomienda un mínimo de sólidos totales de 62,5% y obtuvieron valores de glucosa altamente variable (entre no detectable hasta 27,2% dependiendo de la formulación del producto) en el caso de estos dos parámetros, los valores obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro de los rangos sugeridos, los sólidos totales 71,9% y la concentración promedio de glucosa fue de 4,75%. Gerena (2013) reporta un valor promedio de glucosa a partir de hidrólisis enzimática de 8,83 g/L, en este estudio la concentración obtenida fue de 4,87 g/L, lo que sugiere la necesidad de aumentar el rendimiento de la reacción o realizar un proceso de concentración del producto final.

Al comparar los niveles de glucosa del reactivo de partida con respecto al producto de la hidrólisis, se observa que el valor inicial de este parámetro es de 50 mg/dL (Tabla 8-3) y se obtiene un valor final promedio de 487,3 mg/dL (Tabla 3-10), lo que representa un incremento de casi nueve veces en función de la cantidad inicial.

3.2.10.3. *Análisis sensorial del producto*

3.2.10.4. *Análisis de discriminación de la formulación*

Se realizó un test de discriminación de tres formulaciones diferentes de gran aceptación a nivel comercial (frutilla, chocolate y natural) generadas a partir del jarabe de suero como materia prima principal. Este tipo de estudios resulta muy importante para establecer si existen diferencias entre los diferentes productos, lo que permite tomar decisiones a nivel industrial para su producción y comercialización. Como su nombre lo indica, se utilizan los sentidos para que un conjunto de personas evalúe y comparen los tres productos elaborados.

Para el análisis sensorial se aplicó una encuesta donde se evaluaron tres criterios: color consistencia y sabor (con tres alternativas de respuesta: me gusta, ni me gusta ni me disgusta y no me gusta), y la persona encuestada indicó cual jarabe le gustó más en una muestra representativa de la población (Ver en el anexo O la encuesta y en el anexo P las fotografías tomadas durante la aplicación de la misma). En este sentido, los jarabes fueron denotados con la numeración 5770 (sabor chocolate), 3649 (sin saborizante) y 4853 (sabor frutilla).

La muestra representativa fue calculada con la siguiente ecuación matemática (Bolaños, 2012):

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

n = Tamaño muestral.

N = Tamaño de la población, N = 30000.

Z = Valor correspondiente a la distribución de Gauss, $Z_{\alpha} = 1.96$.

p = Prevalencia esperada del parámetro a evaluar, p = 0.5.

q = 1 - p.

e = Error que se prevé cometer, e = 5%.

Sustituyendo los valores en la ecuación 16, se tiene que el tamaño muestral es de:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 0.5 * 0.5 * 30000}{(0.05)^2 * (30000 - 1) + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}$$

Se aplicó la encuesta al número de personas del tamaño muestral y se tabularon y analizaron los resultados obtenidos desde el punto de vista estadístico con la prueba chi cuadrado, y así verificar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los productos elaborados en las tres características en estudio: color, sabor y consistencia. La prueba chi cuadrado es una prueba de hipótesis que permite determinar si dos variables están relacionadas o no (Rivera, 2011).

Los resultados de la misma se muestran en las tablas 17-3 a la 22-3 y en las figuras 13-3 a la 15-3.



Gráfico 1-3: Resultados de la aplicación de la encuesta con respecto a la preferencia del color del producto

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 17-3: Tabla de contingencia parámetro COLOR

Pregunta	Jarabe	Por favor denos su criterio respecto al jarabe de su preferencia sobre las siguientes características: [Color]			Total
		Me gusta	Indiferente	No me gusta	
¿Cuál jarabe le gustó más?	3649	69	14	3	86
	4853	155	20	3	178
	5770	107	8	1	116
Total		331	42	7	380

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 18-3: Prueba de chi cuadrado para el parámetro COLOR

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	6.655	4	.155
Razón de verosimilitudes	6.556	4	.161
N de casos válidos	380		

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Al comparar las preferencias de color en las distintas muestras de jarabe, con una prueba chi cuadrado, a un 95% de confianza, se verifica que no existen diferencias significativas en las preferencias de las personas con respecto al color.

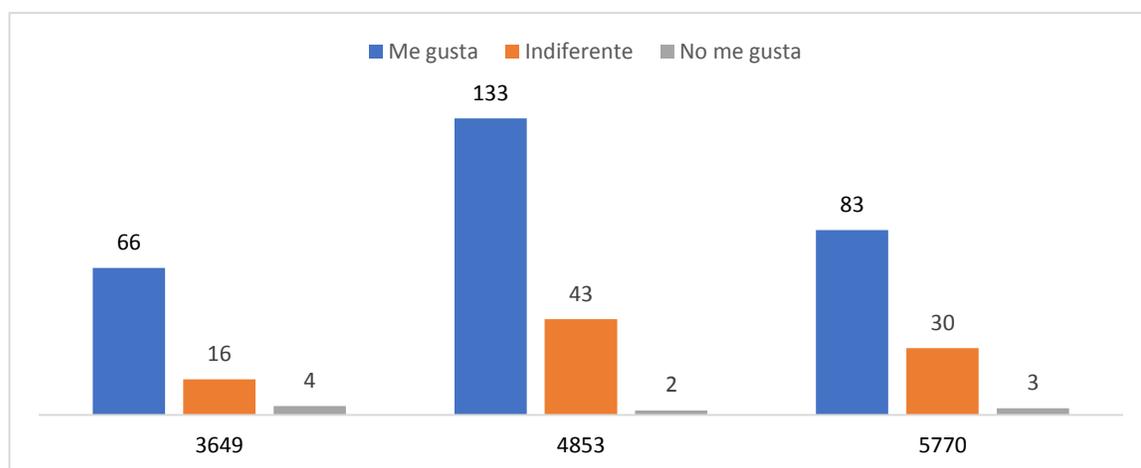


Gráfico 2-3: Resultados de la aplicación de la encuesta con respecto a la preferencia de la consistencia del producto

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 19-3: Tabla de contingencia parámetro CONSISTENCIA

Pregunta	Jarabe	Por favor denos su criterio respecto al jarabe de su preferencia sobre las siguientes características: [Consistencia]			Total
		Me gusta	Indiferente	No me gusta	
¿Cuál jarabe le gustó más?	3649	66	16	4	86
	4853	133	43	2	178
	5770	83	30	3	116
Total		282	89	9	380

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 20-3: Prueba de chi cuadrado para el parámetro CONSISTENCIA

	Valor	Gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	4.459	4	.347
Razón de verosimilitudes	4.379	4	.357
N de casos válidos	380		

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Al comparar las preferencias de consistencia en las distintas muestras de jarabe, con una prueba chi cuadrado, a un 95% de confianza, se verifica que no existen diferencias significativas en las preferencias de las personas con respecto a la consistencia.



Gráfico 3-1: Resultados de la aplicación de la encuesta con respecto a la preferencia del sabor del producto

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 3-2: Tabla de contingencia parámetro SABOR

Pregunta	Jarabe	Por favor denos su criterio respecto al jarabe de su preferencia sobre las siguientes características: [Sabor]			Total
		Me gusta	Indiferente	No me gusta	
¿Cuál jarabe le gustó más?	3649	85	0	1	86
	4853	176	2	0	178
	5770	113	3	0	116
Total		374	5	1	380

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 22-3: Prueba de chi cuadrado para el parámetro SABOR

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	6.040	4	.196
Razón de verosimilitudes	6.412	4	.170
N de casos válidos	380		

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Con un 95% de confianza se puede asegurar que no se verifican diferencias significativas en las preferencias de jarabe en relación con el sabor.

A partir del estudio de discriminación de las tres formulaciones de producto (frutilla, chocolate y natural) y al aplicar el estadístico chi cuadrado, se puede concluir con un 95% de confianza que no se encuentran diferencias significativas en las preferencias del jarabe en relación con el color, consistencia y sabor, por lo que se puede fabricar indiferentemente cualquiera de los tres productos y tendrán una aceptación similar entre los consumidores.

3.3. *Proceso de producción*

3.3.1. *Materia prima, insumos, aditivos y reactivos*

En el proceso de producción del jarabe de suero, no sólo es importante contar con los reactivos imprescindibles para la reacción de hidrólisis, sino que se requieren otras sustancias y compuestos, que permiten lograr la formulación adecuada del producto final.

Tabla 23-3: Componentes utilizados en la elaboración del jarabe de suero

Tipo de componente	Nombre del compuesto
Materia Prima	Lactosuero

Insumo	Enzima: β -galactosidasa de <i>Kluyveromyces lactis</i>
Aditivos	Carboximetilcelulosa (CMC) Goma Xanthan Azúcar Sorbato de potasio Saborizante y colorante (opcionales)
Reactivo	Lactosuero

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Materia prima

Una materia prima es aquella sustancia, compuesto, componente, recurso, generalmente natural, que es transformada con el fin de obtener nuevas sustancias, compuestos o recursos de mayor valor agregado (Iquímicas, 2012). En esta investigación, la materia prima para la obtención del jarabe de suero es el lactosuero obtenido como sub producto de la elaboración de quesos. Ver Tabla 23-3.

Insumos

Insumo es aquello que se utiliza en un proceso productivo para la elaboración de un bien. El insumo, por lo tanto, se utiliza en una actividad que tiene como objetivo la obtención de un bien más complejo o diferente, tras haber sido sometido a una serie de técnicas determinadas (Pérez & Gardey, 2013). El presente estudio utiliza como insumo la enzima: β -galactosidasa de *Kluyveromyces lactis* que resulta imprescindible para la hidrólisis de la lactosa presente en el lactosuero y obtener glucosa. Este insumo se requiere en una pequeña proporción comparado con el volumen de lactosuero (sustrato) a reaccionar. La enzima permite catalizar la reacción evitando emplear condiciones extremas de temperatura, pH, presión, etc.

Aditivos

Los aditivos alimentarios son unas sustancias de tipo químico que se añaden a los alimentos con la finalidad de mejorar su conservación, cambiar sus propiedades o hacer más sencillos los procesos de elaboración (Méndez, 2010). Los aditivos utilizados en esta investigación para obtener el jarabe de suero son la carboximetilcelulosa (CMC), la goma xanthan, azúcar y el sorbato de potasio que actúa como conservante. Estos aditivos permiten mejorar la calidad y las características organolépticas del producto.

Reactivos

Los reactivos son elementos químicos que establecen una interacción con otras sustancias en el marco de una reacción química, generando una sustancia con propiedades diferentes que recibe el nombre de producto (Pérez & Merino, 2015). En este estudio el reactivo coincide con la materia prima, es el lactosuero, ya que la reacción que ocurre es de descomposición, la molécula de lactosa se descompone en glucosa y galactosa con ayuda de la enzima, de allí que sea denominada reacción enzimática.

3.3.2. Diagrama del proceso

A continuación, en la figura 3-16 se muestra el diagrama del proceso de elaboración de jarabe de suero a partir del lactosuero.

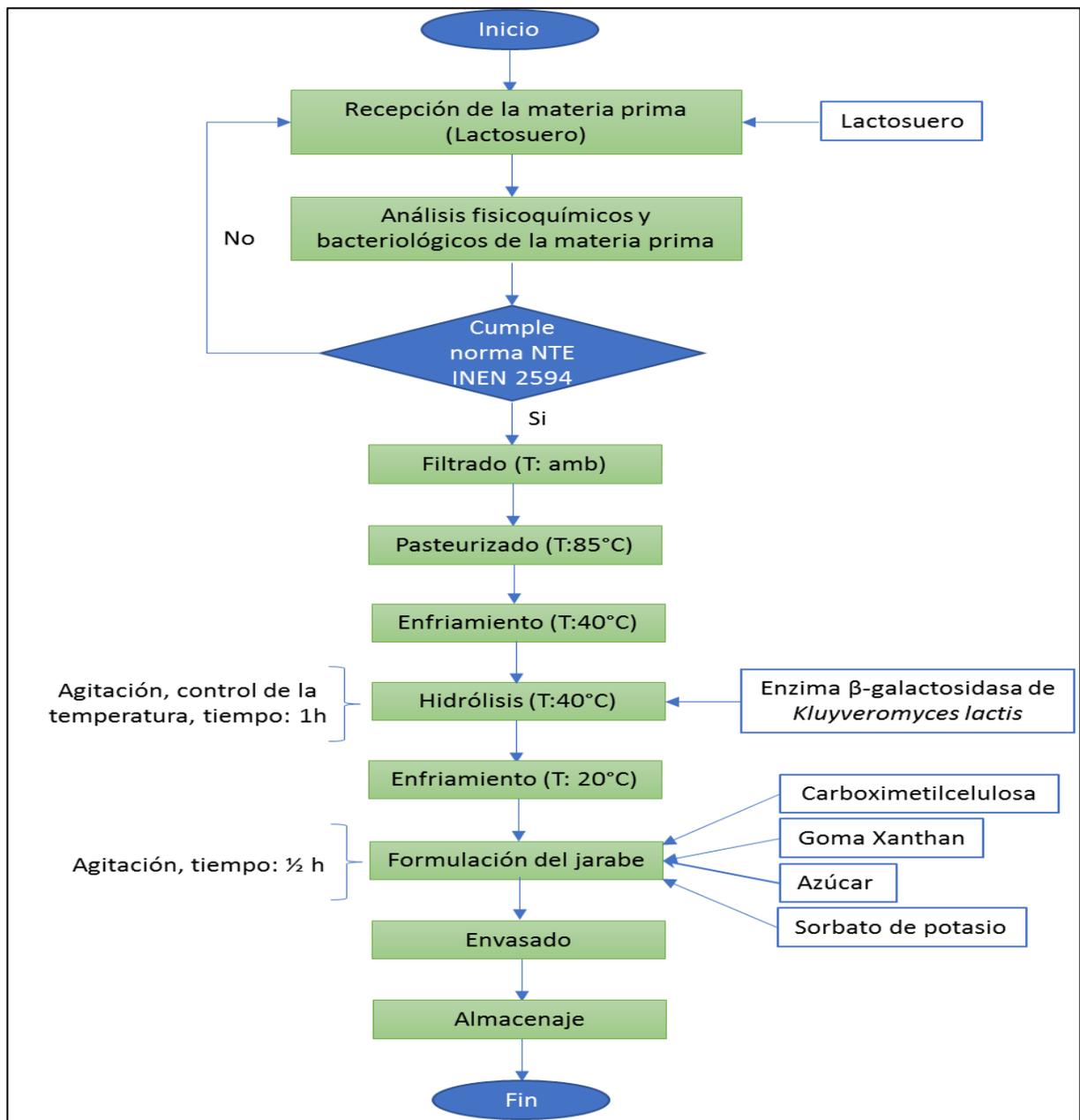


Figura 13-3: Diagrama de procesos de la producción de jarabe de suero a partir del lactosuero de la planta productora de lácteos San José

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

3.3.3. Descripción del proceso para la obtención del jarabe de suero

La producción del lactosuero a escala industrial debe cumplir con las siguientes fases:

- **Recepción de la materia prima:** se debe verificar la procedencia del lactosuero y que el mismo se encuentre fresco, para garantizar su aprovechamiento óptimo en función de sus características fisicoquímicas y bacteriológicas originales, evitando cualquier tipo de contaminación. Además, para la elaboración del jarabe de suero se debe disponer de todos los insumos y aditivos necesarios en la cantidad y calidad requerida por el proceso. Para la reacción de hidrólisis de 250 L de lactosuero se necesitan 1,1 L de enzima β -galactosidasa *Kluyveromyces lactis*. Posterior a la reacción, la formulación final del jarabe de suero se requiere de 1,25 kg de CMC, 1,25 kg de goma Xanthan, 25 kg azúcar y 150 g de sorbato de potasio (opcionales: 100 mL de saborizante y 50 mL de colorante).
- **Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos:** de la cantidad total de lactosuero a utilizar como materia prima se toma una muestra representativa, que será utilizada para verificar cuantitativamente sus parámetros fisicoquímicos con el fin de verificar que cumpla con lo establecido en la norma técnica ecuatoriana INEN 2594. En especial para la obtención del jarabe de suero, es importante verificar su pH con el fin de lograr una hidrólisis adecuada. En este caso el pH deberá encontrarse entre 6 y 7 aproximadamente.
- **Filtrado:** El lactosuero que cumpla con las características adecuadas para la obtención del jarabe es transportado hacia un filtro de membrana o un separador centrífugo, con el fin de eliminar las partículas suspendidas y parte de la grasa que pueda contener. De esta manera se evita que estos componentes interfieran en la reacción de hidrólisis.
- **Pasteurizado:** A continuación, en una marmita limpia y estéril diseñada para procesar 250 L del lactosuero se carga el lactosuero y se aumenta la temperatura hasta 85°C para lograr la pasteurización del mismo.
- **Enfriamiento:** Posteriormente, la temperatura se disminuye a 40°C para llevar a cabo la reacción de hidrólisis.

- **Hidrólisis:** En este momento se adiciona el insumo (enzima) y se verifica y controla la temperatura, la cual debe permanecer de manera constante en 40°C por una hora. Este es el principal parámetro de operación para lograr un adecuado avance de la reacción. La marmita debe ser enchaquetada para llevar a cabo todos los procesos de transferencia de calor, por medio de un sistema de recirculación de agua que será suministrada por una caldera (equipo auxiliar). También debe contarse con un sistema de agitación mecánica (aproximadamente a 110 rpm) para garantizar una mezcla homogénea dentro de la marmita, así como la adecuada distribución de la temperatura. El proceso se lleva a cabo durante una hora en las condiciones descritas.
- **Enfriamiento:** Al cumplirse el tiempo de reacción se inicia la etapa de enfriamiento lo que favorece la finalización de la reacción. Al alcanzar la temperatura de 20°C se procede a verificar el pH del suero hidrolizado y la concentración de glucosa con el fin de verificar la obtención del producto de interés y verificar el rendimiento de la reacción.
- **Formulación del jarabe:** En la misma marmita y a la temperatura final del enfriamiento (20°C) se procede a la formulación del jarabe de suero. Este proceso demora aproximadamente media hora y consiste en adicionar los aditivos CMC, goma Xanthan, azúcar, y de manera opcional, puede añadirse saborizante y/o colorante. Se mantiene la agitación de la mezcla hasta alcanzar el punto de gelificación. Finalmente, se agrega el sorbato de potasio (conservante). Al finalizar la formulación del jarabe se toma una muestra representativa que debe ser analizada según los parámetros indicados en las Tablas 10-3 y 11-3.
- **Envasado:** El producto es descargado de la marmita, envasado utilizando un dosificador semi-automático y almacenado a 4°C para su posterior comercialización. Se sugiere se realice en envases de 1, 5 y 10 L, en función de las necesidades del cliente.
- **Almacenaje:** El producto envasado debe almacenarse a 4°C hasta su comercialización.

3.3.4. Formulación de materia prima, reactivos e insumos a escala industrial

En la siguiente tabla se detalla la proporción de materia prima, insumos y aditivos necesarios para la elaboración del jarabe de suero propuesto:

Tabla 24-3: Formulación para a producción de jarabe de suero a escala industrial

Componente	Cantidad
Lactosuero	250 L
Enzima β -galactosidasa <i>Kluyveromyces lactis</i>	1,1 L
Carboximetilcelulosa (CMC)	1,25 kg
Goma Xanthan	1,25 kg
Azúcar	25 kg
Sorbato de potasio	150 g
Saborizante (optativo)	100 mL
Colorante (optativo)	50 mL

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Aplicación del producto

El suero hidrolizado es un producto que tiene diversos usos dependiendo de sus características y de los aditivos que se le incorporen a su formulación. Dependiendo del porcentaje de glucosa presente, pueden ser aplicados en la industria pastelera, helados, alimentación dietética, galletas y a nivel farmacéutico (Gerena, 2013), este es el caso del suero hidrolizado obtenido en esta investigación. Si el suero hidrolizado se concentra, el producto puede utilizarse en la industria de caramelos, chicles y confitería.

En el caso del jarabe de lactosuero obtenido (producto final) puede emplearse de manera directa en el acompañamiento de una gran diversidad de postres, comidas y salsas.

3.3.5. Distribución y diseño de la planta

A continuación, se presenta una breve descripción de las áreas físicas de la planta productora del jarabe de suero y la distribución del envasado de embotellamiento.

3.3.5.1. Descripción de las áreas de la planta productora del jarabe de suero

- Área de producción.

Zona seleccionada dentro de la planta productora de lácteos “San José” para la ubicación del proceso de producción del jarabe de suero generado a partir del lactosuero, subproducto en la producción del queso. En esta zona se debe instalar una unidad de filtración para retirar grasas y sólidos suspendidos, a continuación, una marmita de 300 L de capacidad. Como equipos accesorios se requiere una caldera para llevar a cabo el proceso de transferencia de calor de la marmita, un tanque para el almacenaje del producto de 500 L y el equipo de envasado y taponado.

- Área de control de calidad

Área de la empresa donde se llevan a cabo los análisis básicos a realizar en la materia prima, posterior a la hidrólisis y del producto final. Estos análisis son pH, contenido de azúcar y contenido de glucosa. En esta área también se pueden verificar las fichas técnicas de todos los compuestos recibidos en la empresa para la elaboración del jarabe de suero y se pueden verificar cantidades y nuevas formulaciones.

- Área de bodega

Esta zona se puede dividir en la zona de almacenaje de la materia prima, insumos y aditivos y, la zona de almacenamiento del producto final elaborado que debe mantenerse a 4°C.

Distribución del envasado de embotellamiento

A continuación, en la figura 17-3 se muestra un esquema gráfico con una propuesta de envasado de jarabe de suero elaborado.

Se recomienda que del volumen total de producción de un lote de jarabe de suero (250 L) un 60% (150 L) sea envasado para comercializarlo al mayor, específicamente en envases de 5 y 10 litros. El 40% restante (100 L) se envasa para su venta al detal en envases de 1 litro, generando un total de 100 envases de esta cantidad, tal y como se muestra en la figura 17-3. La distribución de los envases por sabor se muestra en la tabla 25-3.

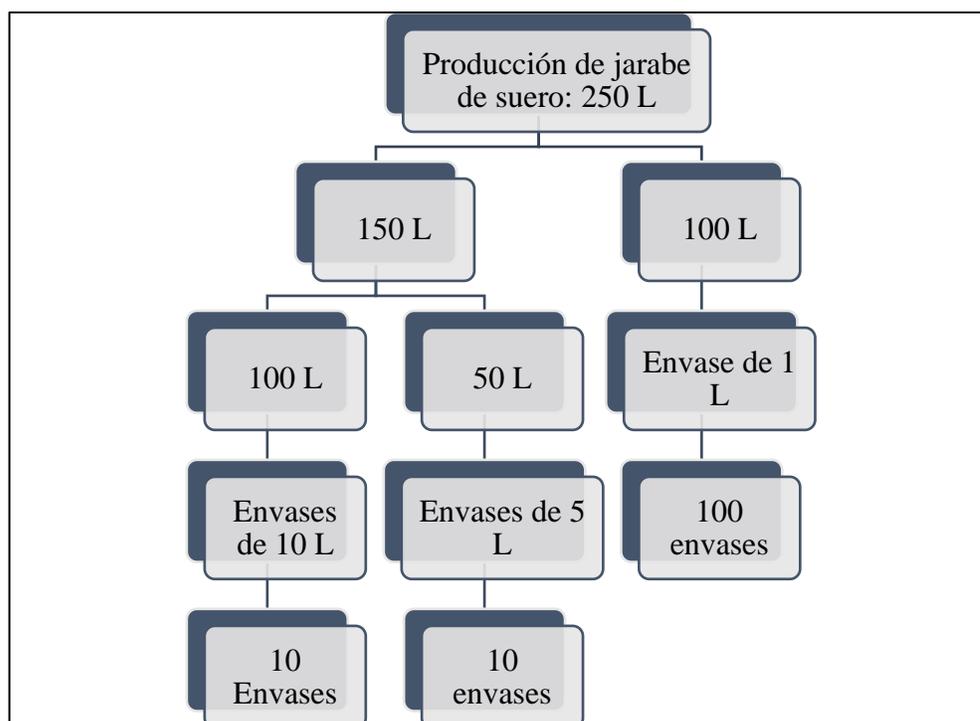


Figura 14-3: Distribución del envasado del jarabe de suero para un lote de producto
Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 25-3: Distribución de producción por sabor del jarabe de suero

Sabor de jarabe	Cantidad de envases
Natural	100
Fresa	80
Chocolate	70

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

3.4. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinarias

3.4.1. Equipos para el proceso

El equipamiento requerido para implementar la producción de jarabe de suero en la planta productora de lácteos “San José” se muestra en la siguiente tabla (Tabla 25-3).

Tabla 26-3: Equipos necesarios para la producción de jarabe de suero a partir de lactosuero

Equipo	Descripción	Otras características
Filtro	Filtro vibratorio de Acero inoxidable Malla fina para tamizado preciso de hasta 20 μm Económico Fácil de transportar Los sólidos quedan en la malla de acero inoxidable, y son impulsados a otro depósito	Ahorro de energía Ahorro en costos de mantenimiento y limpieza Reduce el aire ocluido en el producto Ahorro energético al mejorar el rendimiento
Marmita	El recipiente 2/3 de chaqueta de vapor y es de acero inoxidable AISI-304 con acabado satinado Diseñada para trabajar a una presión de 2.1 Kg/cm^2 Voltaje 220 V Suministro trifásico Vida útil 10 años (aprox.) Interruptor termo magnético de 10 A Base tubular de acero inoxidable con bridas para nivelar y fijar al piso Control mediante contactor, termostato, protección contra bajo nivel de líquido, interruptor de presión y válvula de seguridad Capacidad 300 L Calentamiento por gas Agitación con variación de velocidad tipo palas planas de 45° de inclinación	Fácil limpieza Fácil instalación Ergonómica Alta garantía de homogeneidad del producto
Caldera	Acero inoxidable Sensores Chimenea Bomba de agua Eficiencia mínima 84% Temperatura ajustable entre 30 y 120°C Presión de vapor 0.4 / 0.5 bar	Alimentado por diésel Fácil instalación Generador de vapor

Tanque de almacenamiento del producto	Acero inoxidable Capacidad de 500 L Sección transversal cilíndrica	Hermético Fácil de limpiar
Embotellador	Acero inoxidable Capacidad para cuatro frascos de llenado Funciona en base a una bomba de 1/5 HP Cuenta con instrumento para delimitar la entrada de caudal	Capacidad de llenar frascos de varios volúmenes Fácil y práctico funcionamiento
Taponador	Material de acero inoxidable Tamaño pequeño Peso 22 Kg Semiautomático Capacidad de producción 400 botellas/hora	Alimentación eléctrica Fácil movilidad Económico Fácil manejo

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

3.4.1.1. Filtro

El lactosuero procedente de la elaboración de queso, normalmente contiene una cantidad considerable de finos de caseína. El equipo separador de finos de caseína mediante vibración está especialmente concebido para poder recuperar estos finos presentes en el suero, al mismo tiempo que disminuye las partículas del lactosuero para mejorar su procesamiento (Kompass, 2017).

En este proceso el filtrado del lactosuero se recomienda para eliminar los sólidos en suspensión y parte de las grasas que aun contiene este subproducto, de esta manera puede mejorarse el rendimiento de la reacción de hidrólisis y las características organolépticas del producto final.

Se recomienda un filtro vibratorio de acero inoxidable de alta eficiencia para tamizado y filtración.

3.4.1.2. Marmita

Es un recipiente metálico, hermético, con tapa atornillada, en el que la presión interna del vapor favorece la cocción o calentamiento de los alimentos. Particularmente, la marmita utilizada en esta investigación es una marmita de vapor con camisa consiste en una cámara de calentamiento conocida como camisa o chaqueta de vapor que rodea el recipiente que se desea calentar. El

calentamiento se lleva a cabo con vapor generado por ella misma o procedente de una caldera (Erazo & Lata, 2012).

La marmita sugerida está elaborada en acero inoxidable AISI 304 y en la parte inferior posee la chaqueta que permite suministrar calor al equipo. Su volumen es de 300 L. La tina o recipiente es resistente a la corrosión y a la oxidación. Posee un sistema de agitación tipo rejilla de palas planas inclinadas (45°), tubo y válvula de drenaje, pedestal, medidor de presión y válvula de desfogue (seguridad) (Erazo & Lata, 2012).

3.4.1.3. Caldera

Una caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería que está diseñado para generar vapor saturado. Éste vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado. Es un aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor (SV, 2011).

Las calderas son un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas de intercambiadores de calor, en las cuales se produce un cambio de fase. Además son recipientes a presión, por lo cual son construidas en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas (SV, 2011).

Una caldera suele poseer por algún lugar de ella un hogar que se pone en contacto con la flama y luego están los quemadores donde se lleva a cabo la combustión. Los combustibles pueden estar en estado tanto líquido como también sólido y gaseoso. En este proyecto se recomienda emplear diésel (SV, 2011).

3.4.1.4. Tanque de almacenamiento

Con el fin de preservar el producto obtenido y evitar el crecimiento de microorganismos y la separación de los diferentes aditivos se recomienda un tanque de almacenamiento refrigerado a

aproximadamente 4°C. Se sugiere un volumen de 500 L. Tapa superior para inspección y limpieza y tubería inferior o lateral para la descarga del jarabe.

3.4.1.5. Envasadora y taponadora

La envasadora-taponadora propuesta está enfocada para pequeñas producciones de productos de baja, mediana o alta viscosidad que no sean espumosos, tiene una capacidad de producción de 15 a 30 envases por minuto, dependiendo del producto y el volumen a envasar, es un equipo semiautomático sencillo y versátil con facilidad para cambios de formato de envases.

El equipo puede contar con uno o dos cabezales volumétricos, con capacidad para manejo de sólidos de hasta 3 mm, el diseño es sanitario y de fácil limpieza (Galeon, 2017).

Esta tecnología consiste en pistón volumétrico de carrera controlada, el cual succiona del tanque de balance una cantidad determinada de producto y la inyecta al envase midiendo la cantidad de producto dosificado (Galeon, 2017).

Este equipo es ideal para el envasado de productos como el de esta investigación. Los envases deben tener las siguientes características: de 25 a 160 mm de diámetro y de 40 a 320 mm de altura. El control se realiza por medio de un sistema semiautomático, con operación manual o repetitiva, cuenta con reguladores para controlar la velocidad de producto al envasar y ajuste de volumen por medio de sensor de carrera, cuenta también con contador de ciclos (Galeon, 2017).

3.4.2. Equipos para controlar el proceso

A continuación, se indican los principales equipos e insumos que se necesitan a nivel de laboratorio para el control del proceso. Tablas 26-3 y 27-3.

Tabla 27-3: Equipos necesarios para el control del proceso a nivel de laboratorio y planta

EQUIPO	CARACTERISTICA/DESCRIPCION
Medidor de pH	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de sobremesa • Modelo HI 2211 • Simplicidad en el diseño • Muestra simultanea de pH y T° • Cinco tampones estándar • Compensación automática de temperatura • Calibración automática • LCD extra amplio • Rango de mV ampliado
Balanza analítica	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de sobremesa • Platillo de acero inoxidable • El dispositivo display puede situarse en diferentes lugares. • Cable de 1,5 m. de longitud. • Tamaño del display: 200x100x55 mm. • Tamaño del dígito: 25 mm. • Otras unidades de pesaje: lb, oz, ozt, tLH, tLT • Puede funcionar también mediante baterías (9 V) • Función de auto desconexión (AUTO-OFF) para ahorrar energía tras un lapso de 3 minutos. • Adaptador RS 232 C bidireccional para conexión al ordenador o impresora.
Brixometro	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de Medida: Brix 0.0 to 53.0 % • Resolución: Brix 0.1% • Exactitud de medida: Brix ± 0.2 % • Temperatura Ambiente: 10 to 40°C • Temperatura de Medición: 10 a 100°C • Volumen de Muestra: 0.3 ml • Tiempo de Medición: 3 segundos • Clase de protección internacional: IP65 • Dimensiones y Peso: 806mm x 600mm x 100mm

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 28-3: Instrumentos el control del proceso a nivel de laboratorio y planta

INSTRUMENTO	CARACTERÍSTICAS
Vaso de precipitación	<ul style="list-style-type: none">• Material de vidrio• Varias dimensiones• Multiusos
Varilla de agitación	<ul style="list-style-type: none">• Material de vidrio• Útil para agitar cualquier sustancia
Tubos de ensayo	<ul style="list-style-type: none">• Material de vidrio• Necesario para tomar muestras
Probeta	<ul style="list-style-type: none">• Material de vidrio o plástico• Varias dimensiones• Medida exacta
Termómetro	<ul style="list-style-type: none">• Material de vidrio• Control de temperatura• Diferentes tamaños
Pipetas	<ul style="list-style-type: none">• Material de vidrio• Diferentes volúmenes• Ideal para toma de volúmenes
Espátula	<ul style="list-style-type: none">• Metálicas
Gradilla	<ul style="list-style-type: none">• Material de plástico y metal• Practico para colocar tubos de ensayo
Piseta	<ul style="list-style-type: none">• Material de plástico• Diferentes tamaños• Practico para lavar materiales

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

3.5. Análisis de costo/beneficio del proyecto

3.5.1. Costo de la materia prima

A continuación, se indican los costos de la materia prima, insumos y reactivos para la elaboración del jarabe de suero a partir del lactosuero. En la Tabla 28-3 se muestran los costos para la elaboración de 1 litro de producción y la Tabla 29-3 para la producción de un lote de 250 litros.

Tabla 3-4: Costos de materia prima, insumos y aditivos para la elaboración de un litro de jarabe de suero

Materias Primas	Costos	Unidad
Lactosuero	\$0.05	Litro
Enzima	\$102	Kg
CMC	\$0.50	Onza
Goma Xanthan	\$0.50	Onza
Azúcar	\$0.95	Kg
Sorbato de potasio	\$0.50	Onza
Colorante	\$1.20	1 frasco
Saborizante	\$1.20	1 frasco

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 30-3: Costos de materia prima, insumos y aditivos para la elaboración de un lote de 250 L de jarabe de suero

Materias Primas	Cantidad	Unidad	Costo/Lote
Lactosuero	250	Litro	\$12.50
Enzima	1.1	Litro	\$112.20
CMC	1.25	Kg	\$22.32
Goma Xanthan	1.25	Kg	\$22.32
Azúcar	25	Kg	\$23.75
Sorbato de potasio	150	g	\$2.65
Colorante	50	mL	\$1.20
Saborizante	100	mL	\$1.20
Envase	250	-	\$187.50
Etiqueta	250	-	\$62.50
Total			\$448.14

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

3.5.2. Costo de los equipos y análisis de laboratorio

Tabla 31-3: Costos de los equipos requeridos para la elaboración del jarabe de suero

		Cantidad	Costo (\$)
Equipos para la PRODUCCIÓN	Filtro	1	450
	Caldera	1	1145
	Marmita*	1	2688
	Envasadora y taponadora	1	1240
	Tanque de almacenamiento	1	600
Sub-Total			6123.00
Equipos para CONTROL DE PROCESOS	Medidor de pH	1	544.50
	Brixómetro	1	245.54
	Balanza Analítica	1	348.46
Total			7261.50

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

*Cotización de la marmita en el Anexo Q.

Tabla 32-3: Costos de los análisis para el control de calidad de la materia prima y del producto elaborado

Análisis	Costo (\$)
Fisicoquímicos y microbiológicos materia prima	120.00
Glucosa y Azúcares	17.00
Fisicoquímicos Jarabe de Suero	122.96
Total	259.96

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

3.5.3. Costo de producción

Tabla 33-3: Relación costo-beneficio para la producción de jarabe de suero considerando los egresos por materia prima

Cantidad jarabe de un lote (L)	Volumen Jarabe por unidad (L)	Unidades de jarabe producción	Costo por unidad	Total Ingresos vendido 100% (\$)
250	1	250	3,50	875
Ingresos (considerando un lote diario 70%) (\$)				
Diario	Semanal	Mensual	Anual	
612.5	4287.5	18375	220500	
Egresos				
Diario	Semanal	Mensual	Anual	
448.14	3136.98	13444.2	161330.40	
Total de ganancias (\$)				
Diario	Semanal	Mensual	Anual	
164.36	1150	4930.8	59169.6	

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 34-3: Costo de mano de obra para la adecuación de la planta y producción de jarabe de suero

Personal	Salario (\$)
Mano de obra para la adecuación de la planta	2500
Mano de obra para el montaje de la planta	1000
Asesoría de la planta	1000
Técnico para el producto	700.00
Operario para el producto	500.00
Total (\$)	5700.00

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

Tabla 35-3: Presupuesto total anual para la implementación de la producción de jarabe de suero

Costos (egresos)	Total (\$)
Equipos para la producción	6123.00
Equipos para control de procesos	1173.00
Materia Prima	161330.40
Análisis fisicoquímicos y microbiológicos	3119.52
Mano de obra adecuación de la planta	4500
Mano de obra	14400.00
Ingresos	
Producción	220500
Total Ganancia (\$)	29854.08

Realizado por: Evelyn Llerena, 2017

A partir de los datos suministrados en las tablas 28-3 a la 34-3 se observa que el proyecto de producción de jarabe de suero a partir del lactosuero resulta altamente rentable, recuperándose la inversión de la adquisición de los equipos en el primer año de operación. Por lo que este proceso resulta viable no sólo desde el punto de vista técnico sino también económico, sin obviar los beneficios medio ambientales resultantes del uso del lactosuero para este fin.

3.6. Cronograma de ejecución del proyecto

ACTIVIDADES	TIEMPO																									
	1 ^{er} MES				2 ^{do} MES				3 ^{ER} MES				4 ^{TO} MES				5 ^{TO} MES				6 ^{TO} MES					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Recopilación de la información	■	■	■	■	■	■	■	■																		
Muestreo del lactosuero									■	■	■															
Caracterización del lactosuero									■	■	■	■														
Pruebas de ensayo a nivel de laboratorio											■	■	■	■	■	■										
Determinación del proceso de obtención del jarabe de suero															■	■	■									
Identificación de las variables del proceso															■	■	■	■								
Diseño del proceso para la obtención del jarabe de suero																	■	■	■							
Caracterización fisicoquímica del producto																			■	■						
Validación del proceso																				■	■					
Encuesta de satisfacción del producto elaborado																					■					
Elaboración del trabajo final													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Correcciones del trabajo final																						■	■			
Defensa del trabajo final																										■

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La elaboración de jarabe de suero a partir del lactosuero generado como subproducto de la elaboración de quesos, en la planta productora Lácteos San José, constituye una alternativa viable para evitar que esta sustancia altere negativamente al medio ambiente, en el caso que sea vertida sin control en fuentes de agua o suelos. Con este fin, se realizó la caracterización física, química y microbiológica de este subproducto (Tablas 5-3 y 6-3), obteniéndose que el mismo presenta algunos parámetros que lo catalogan como suero de leche ácido y otras propiedades que se asemejan al suero de leche dulce. En todos los casos los parámetros cumplen con lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2594.

Con el fin de producir jarabe de suero el parámetro más importante para verificar fue el pH, ya que es un factor de gran importancia para la actividad y acción de la enzima β -galactosidasa de *Kluyveromyces lactis* sobre el sustrato. El lactosuero presentó un pH de 6,4 valor que origina una actividad relativa de la enzima muy favorable (90%), por lo que se considera que dicho lactosuero es apto para la fabricación del jarabe de suero.

La producción del jarabe se realizó con ocho ensayos a nivel experimental (laboratorio) en un volumen de 1 litro y a escala piloto, donde se procesaron 10 L de lactosuero. Ambos procesos se compararon con el fin de lograr la validación del procedimiento. Tanto a nivel de laboratorio como piloto la materia prima, insumos y aditivos utilizados fueron: lactosuero, enzima, carboximetilcelulosa, goma Xanthan, azúcar y sorbato de potasio. Los pasos para la producción del jarabe fueron: recepción de la materia prima, filtración, pasteurización, hidrólisis, enfriamiento, formulación del jarabe (adición de aditivos), espesamiento y envasado. Las variables fundamentales para el adecuado control del proceso fueron la temperatura, el pH, el tiempo de reacción, la calidad y cantidad de sustrato y la enzima. Las condiciones establecidas para el proceso de validación durante la hidrólisis fueron: tiempo de reacción (1 h), temperatura de la reacción de hidrólisis (40°C), pH (alrededor de 6), cantidad de lactosuero y cantidad de enzima dependiendo del tipo de proceso (experimental o piloto).

Al comparar la concentración de glucosa obtenida en la fase experimental y a nivel piloto (Tabla 7-3) se observa que ambos procesos generan valores similares de este parámetro, por lo que el procedimiento ha sido validado en función a este parámetro, altos valores de glucosa al final de la reacción demuestran una alta conversión de reacción, es decir, la lactosa fue descompuesta en glucosa y galactosa, siendo la glucosa el producto de interés.

Se realizó una encuesta con el fin de conocer las preferencias en cuanto a color, consistencia y sabor del jarabe en una muestra representativa de la población. Para las tres propiedades se verificó, con una prueba chi cuadrado, a un 95% de confianza, se verifica que no existen diferencias significativas en las preferencias de las personas.

Para un lote de 250 litros se diseñó una marmita de 300 L con diámetro interno de 0.65 m y 0.87 metros de altura y se realizaron sus respectivos balances de masa y energía. El costo asociado a la adquisición de materia prima para la producción de un lote diario es de 448.14\$. El costo relacionado a los equipos es de 8423\$ el cual es recuperado en el primer año de producción, obteniéndose una ganancia total de 29854.08\$.

En función a los resultados técnicos y económicos, la producción de jarabe de suero a partir del lactosuero resulta una alternativa viable para la empresa, la cual obtendría beneficios económicos, sociales y ambientales.

CONCLUSIONES

- El lactosuero cumplió con la normativa técnica NTE INEN 2594:2011 desde el punto de vista físico, químico y microbiológico, y su pH (6.4) y contenido de lactosa fue adecuado para llevar a cabo la reacción de hidrólisis, con una actividad relativa de la enzima de un 90%, por lo tanto, el lactosuero se consideró apto para la producción de jarabe de suero.
- Los parámetros identificados, verificados y controlados durante el proceso de producción del jarabe de suero fueron: temperatura, enzima, calidad y cantidad de sustrato, tiempo de reacción y tipo de enzima.
- Se diseñó una marmita de 300 litros de capacidad para la producción de un lote de 250 litros de jarabe de suero. El tiempo de reacción es de una hora, la temperatura de la reacción de hidrólisis debe controlarse a 40°C. La enzima posee una buena actividad relativa entre 5.5 y 8.5 de pH y su valor máximo se obtiene alrededor de 6, por lo que es recomendable que el lactosuero cumpla con este parámetro.
- Se realizaron pruebas a nivel de laboratorio y estos resultados fueron validados con una prueba piloto en una marmita de 10 litros de capacidad. Los valores de glucosa obtenidos en ambas situaciones arrojaron valores similares. Las propiedades del jarabe obtenido muestran ciertas variaciones con respecto al comercializado en Ecuador, lo cual puede ajustarse concentrando el producto final.
- La relación costo-beneficio de la planta sugerida genera en el primer año de producción una ganancia neta de 29854.08\$ al asumir que el producto es vendido en un 70%, considerando que en este periodo de tiempo se recupera la inversión de los equipos necesarios para la producción del jarabe de suero.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los operadores de la planta trabajen en la misma con todas las medidas de higiene y seguridad industrial.
- Para cada lote de lactosuero se deben realizar los análisis de caracterización, física, química y bacteriológica.
- Se debe garantizar que la materia prima, insumos y aditivos se encuentren en óptima calidad.
- Verificar las características de la enzima utilizada en caso de que sea sustituida para establecer los nuevos parámetros de reacción (tiempo de reacción, pH y temperatura).
- Antes de iniciar cada reacción de hidrólisis debe verificarse el pH de la materia prima.
- Se recomienda llevar a cabo un proceso de concentración posterior a la hidrólisis y el enfriamiento con el fin de que los parámetros de caracterización del jarabe coincidan con los valores de jarabes comercializados en el Ecuador.
- Llevar a cabo un estricto control de limpieza de los equipos involucrados en el proceso, entre lote y lote, para garantizar la inocuidad del producto.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO, D. & BEDOYA, O. *Composición nutricional del la leche de ganado vacuno*. Vol. 2, N° 1 (2005).

AOAC INTERNATIONAL. *AOAC 973.41-1973, PH of water*. 2014. USA: AOAC International.

AOAC INTERNATIONAL. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 2016. Rockville: AOAC.

ARAUJO, K. Y OTROS. *Efecto de la concentración de lactosa sobre la cinética de crecimiento de Kluyveromyces marxianus var. marxianus y la producción de b-D-galactosidasa (E.C. 3.2.1.23)*. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 2007, pp. 64-73.

BOLAÑOS, E. *Muestra y Muestreo*. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2012.

CAMACHO, M. *Obtención de un concentrado proteico del suero de la leche de vaca utilizando tecnología de membranas*. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2009.

CENTRO DE ACTIVIDAD REGIONAL PARA LA PRODUCCIÓN LIMPIA. *Prevención de la Contaminación en la Industria Láctea*. Barcelona: Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia, 2002.

CUELLAS, A. *Aprovechamiento industrial del suero de quesería. Obtención de una bebida energizante a partir del efluente*. [En línea] 2017. Disponible en:

<https://www.portalechero.com/innovaportal/v/3378/1/innova.front/aprovechamiento-industrial-del-suero-de-queseria-obtencion-de-una-bebida-energizante-a-partir-del-efluente.html>

DIONEX. *Measuring Lactose in Milk: A Validated Method*. [En línea] 2016. Disponible en: <https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/110944-AU182-HPLC-Lactose-Milk-29Jul2011-LPN2894.pdf>

DONOSO, J. *Utilización de almidón de banano (Musa cavendish) para la elaboración de jarabe de glucosa*. Quito: Universidad San Francisco de Quito, 2014.

ERAZO, S. & Lata, M. *Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012.

GALEON. *Galeon*. [En línea] 2017. Disponible en: <http://maquinariamac.galeon.com/familia1209683.html>

Gerena, F. *Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscara de naranja (Citrus sinensis l var valencia) y papa (Solanum tuberosum) variedad Diacol Capiro (R-12) para ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos*. Duitama: UNAD, 2013.

Google Maps. *Google Maps*. [En línea] 2017. Disponible en: <https://www.google.com.ec/maps/place/Via+Catequilla,+Chambo/@-1.7283933,-78.5909236,668m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x91d3abdd5fe02adf:0xae3a8576fcc27b7!8m2!3d-1.7283933!4d-78.5887295>

Google Maps. Google Maps. [En línea] 2017.
Disponible en: <https://www.google.com.ec/maps/@-1.730298,-78.6164906,5342m/data=!3m1!1e3>

HERNÁNDEZ-ROJAS, M. & VÉLEZ-RUIZ, J. Suero de Leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos*, 2014, pp. 13-22.

INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE. *Procedimiento para determinar fibra dietética total*. Santiago de Chile: Instituto de Salud Pública de Chile, 2003.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Leche Determinación de Acidez Titulable*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Leche y Productos Lácteos. Muestreo*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Leche. Determinación de sólidos totales y cenizas*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Conservas Vegetales. Determinación de sólidos solubles. Método refractométrico*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1985.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Miel de abejas. Determinación de sólidos insolubles*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1989.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Control microbiológico de los alimentos. Determinación de la cantidad de microorganismos aerobios mesófilos. REP.*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2006.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Control microbiológico de los alimentos. Salmonella. Método de detección*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Suero de Leche Líquido. Requisito*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Azúcar. Determinación del azúcar reductor*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Conservas Vegetales. Jugos de frutas. Determinación de la densidad relativa*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Leche Cruda. Requisitos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Norma general para quesos frescos no madurados. Requisitos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Control Microbiológico de los alimentos. Determinación de microorganismos coliformes por la técnica de recuento de colonias*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Control microbiológico de los alimentos. Staphylococcus aureus. Recuento en placa de siembra por extensión en superficie.* Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Control Microbiológico de los Alimentos . Detección y recuento de Escherichia coli presuntiva por la técnica del número más probable.* Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Leche y productos lácteos. Determinación de Contenido de Nitrógeno. Método Kjeldahl.* Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Microbiología de los alimentos para consumo humano y para alimentación animal - Método horizontal para la detección y recuento de Listeria monocytogenes - Parte 1: Método de detección (ISO 11290-1:1996, IDT).* Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DEL EMPRENDEDOR. *Flujo de Proceso Productivo y Escalas de Producción.* [En línea] 2015. Disponible en: <http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=14&ins=868> [Último acceso: 15 02 2017].

IQUÍMICAS. *Materias primas. Industria Química.* [En línea] 2012. Disponible en: <https://iquimicas.com/materias-primas-industria-quimica/>

KOMPASS. <https://es.kompass.com>. [En línea] 2017. Disponible en: <https://es.kompass.com/p/filtro-separador-de-finos-por-vibracion/e431be94-6cee-4a11-9cac-55e4ae557509/>

LADERO, M. *Hidrólisis de Lactosa con B-Galactosidasas de Kluyveromyces fragilis y de Escherichia coli.* Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 1999.

LYNCH, J., BARBANO, D. & FLEMING, J. Determination of the lactose content of fluid milk by spectrophotometric enzymatic analysis using weight additions and path length adjustment: collaborative study. 2007, Vol. 90, n° 1.

MÉNDEZ, Á. *Aditivos Alimentarios.* [En línea] 2010. Disponible en: <http://quimica.laguia2000.com/general/aditivos-alimentarios>

MINISTERIO DE COORDINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN, EMPLEO Y COMPETITIVIDAD. *Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad.* [En línea] 2011. Disponible en: <http://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/AGENDA-TERRITORIAL-CHIMBORAZO.pdf> [Último acceso: 17 02 2017].

NEGRI, L. *pH y acidez en leche.* [En línea] 2005. Disponible en: <http://www.aprocal.com.ar/wp-content/uploads/pH-y-acidez-en-leche2.pdf>

ORTIZ, E. *Estandarización de hidrólisis en tanques para liberación en proceso UHT en leche deslactosada.* Cuenca: Universidad de Azuay, 2016.

PARRA, R. Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos. 2009, Vol. 62, n° 1, pp. 4967-4982.

PÉREZ, J. & GARDEY, A. *Definición de Insumo.* [En línea] 2013. Disponible en: <http://definicion.de/insumo/>

- PÉREZ, J. & MERINO, M.** *Definición de Reactivo*. [En línea] 2015. Disponible en: <http://definicion.de/reactivo/>
- PERIAGO, M.** *Leche y Productos Lácteos*. [En línea] 2014. Disponible en: www.um.es/aulasenor/saavedrafajardo/apuntes/doc/productos-lacteos.ppt [Último acceso: 14 02 2017].
- PROAÑO, A. & SERRANO, J.** *Producción de Jarabe de Glucosa*. Guayaquil: ESPOL, 2015.
- PROCESOSBIO.** *Balance de Energía*. [En línea] 2017. Disponible en: <http://procesosbio.wikispaces.com/Balance+de+Energ%C3%ADa>
- RAMIREZ, A. & RIVAS, N.** *Producción y caracterización parcial de b -galactosidasa de Kluyveromyces lactis propagada en suero de leche desproteinizado*. ALAN, 2003.
- RAMÍREZ-LÓPEZ, C. & VÉLEZ-RUIZ, J.** *Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad*. 2012, Vol. 6, n° 2.
- RAMIREZ, S.** *El ecuatoriano consumió 2,45 litros de leche anuales menos el 2015*. [En línea] 2016. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/datos/ecuatoriano-consumio-litros-leche-data.html> [Último acceso: 17 02 2017].
- RENALOA.** *Análisis microbiológico de los alimentos*. Buenos Aires: RENALOA, 2011.
- RIVERA, J.** *Slideshare*. [En línea] 2011. Disponible en: <https://es.slideshare.net/armando310388/prueba-chiccuadrado>
- RIVERA, M., HERRERA, C. & BARQUERO, M.** Caracterización fisicoquímica de los siropes comerciales preparados a base de sacarosa. *Tecnología en Marcha*, 2000. pp. 48-54.
- SERVICIO DE INFORMACIÓN Y NOTICIAS CIENTÍFICAS.** *Transforman residuos de la elaboración del queso en aditivos para uso alimentario*. [En línea] 2009. Disponible en: <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Transforman-residuos-de-la-elaboracion-del-queso-en-aditivos-para-uso-alimentario> [Último acceso: 16 02 2017].
- SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.** *Leche. Determinación de acidez titulable*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1984.
- SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.** *Leche. Determinación de sólidos totales y cenizas*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1984.
- SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.** *Microbiología de los alimentos para consumo humano y para alimentación animal -Método horizontal para la detección y recuento de Listeria monocytogenes-Parte 1: Método de detección*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1996.
- SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.** *Control microbiológico de los alimentos. Determinación de la cantidad de microorganismos aerobios mesófilos. REP*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2006.
- SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.** *Control microbiológico de los alimentos. Staphylococcus aureus. Recuento en placa de siembra por extensión de superficie*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2013.

SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Leche. Determinación del contenido de grasa.* Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2013.

SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Control microbiológico de los alimentos. Detección y recuento de Escherichia coli presuntiva por la técnica del número más probable.* Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2015.

SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Leche. Determinación de las proteínas.* Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2015.

SOSA, M. & GALVIS, P. *Caracterización de la enzima glucosa oxidasa (GOX) (E.C.1.1.3.4) libre e inmovilizada en dos soportes (alginato de sodio y agarosa) para la producción de ácido glucónico.* Bogotá: UNAD, 2010.

SOUZA, R., GIMENES, M., COSTA, S. & MÜLLER, C. *Eliminación de grasas del suero de queso para obtener proteínas y lactosa.* Información Tecnológica, 19(2), 2008. pp. 41-50.

SV, M. *Procesos de Manufactura.* [En línea] 2011. Disponible en: <https://manuii.wordpress.com/category/visita-tecnica/>

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. *Productos Lácteos.* [En línea] 2015. Disponible en:

http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Composicionlecheygrasa_1694.pdf
[Último acceso: 13 02 2017].

WIENER. *Glicemia Enzimática.* Argentina: Wiener, 2000.

ANEXOS

ANEXO A. Normativa para muestreo de leche y productos lácteos

Muestreo para unidades pequeñas

Tamaño del lote	Unidades para muestreo
menos de 100	1
101 - 1 000	2
1 001 - 10 000	3
más de 10 000	*

* 4, más 1 por cada 2 500 unidades adicionales o fracción de tal cantidad

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984)

ANEXO B. Resultados de los análisis bromatológicos del lactosuero

 **LABORATORIOS GUIMO**
Control de Calidad

INFORME DE ANÁLISIS No. ALS-160929-FQ

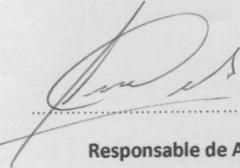
EXAMEN BROATOLÓGICO DE ALIMENTO
CLIENTE: Evelyn Llerena

TIPO DE MUESTRA: Suero Lácteo
FECHA DE RECEPCIÓN: 22 de Noviembre del 2016
FECHA DE MUESTREO: 22 de Noviembre del 2016

EXAMEN FÍSICO:

- **COLOR:** Amarillento
- **OLOR:** Lácteo
- **ASPECTO:** Homogéneo, libre de sustancias extrañas

DETERMINACIONES	UNIDAD	MÉTODO DE ANALISIS	VALOR ENCONTRADO
Lactosa	%	AOAC 984.15	4.1
Proteína	%	NTE INEN 16	0.87
Grasa	%	NTE INEN 12	0.28
Ceniza	%	NTE INEN 14	0.55
Acidez	%	NTE INEN 13	0.421
PH	Unidad	AOAC 973.41	6.4


Responsable de Análisis


Responsable de Control de Calidad

 **LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD**

BQF Daniela Acosta
GUIMO

Este informe no podrá ser reproducido, total o parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio.
Parroquia Huambaló, sector la Florida
Pelileo-Ecuador
Telfs: (03) 2864722 /2864709

ANEXO C. Resultados de los análisis microbiológicos del lactosuero



LABORATORIOS GUIMO

Control de calidad

INFORME DE ANÁLISIS No. ALS-160921-M

ÁREA MICROBIOLOGÍA

DATOS INFORMATIVOS	
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Lactosuero
LOTE Nº	LS16921
PRESENTACIÓN	N.A
ELABORADO POR	Empresa-Quesera
FECHA DE ELABORACIÓN	ND
FECHA DE CADUCIDAD	ND
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Líquido color verdoso, de olor lácteo	
CONTENIDO DECLARADO	100 ml
RESPONSABLE DE MUESTREO	Evelyn Llerena
FECHA DE RECEPCIÓN	2016/09/21
FECHA DE ENSAYO	2016/09/21
FECHA DE REPORTE	2016/09/23
OBSERVACIÓN	Ninguna

RESULTADOS

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	UNIDADES
Recuento de m.o. aerobios mesófilos totales	NTE INEN 1529-5	97x 10 ³	ufc/g
Recuento de Escherichia coli	NTE INEN 1529-8	8	ufc/g
Staphylococcus aureus	NTE INEN 1529-14	75	ufc/g
Salmonella/25 g	NTE INEN 1529-15	Ausencia	Ausencia / Presencia
Detección de Listeria monocytogenes/25 g	ISO 11290-1	Ausencia	Ausencia / Presencia

ISO (International Organization for Standardization)
Ufc: unidades formadoras de colonias
ND: No declara
NA: No aplica


Responsable de análisis




BQE Daniela Acosta
Responsable de supervisión

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio
Parroquia Humbolté, Sector La Florida

ANEXO D. Ficha técnica de la enzima lactasa MAYALACT 2000®

FICHA TÉCNICA	
MAYALACT 2000	
Versión: 01	Página: 1 de 6

1. Descripción
MAYALACT® es una enzima lactasa producida por la fermentación de *Kluyveromyces fragilis*, no es una cepa patógena.

2. Aplicación:
La lactosa es un disacárido presente en la leche de los mamíferos. La lactosa no es un azúcar dulce y es ligeramente soluble. La lactasa (B-D-galactosidasa) hidroliza la lactosa en monosacáridos: glucosa y galactosa. Estos azúcares son relativamente dulces (80% de dulzor en comparación con la sacarosa) y son 3-4 veces más solubles que la lactosa sola.

3. Composición:

- Glicerol: 52%
- Agua: 44%
- Beta-galactosidasa (lactasa): 4%

4. Especificaciones:

- **Actividad**
MAYALACT 2000 NLU /g
La lactasa puede presentarse en diferentes concentraciones, definidas por N.L.U (unidad de lactasa neutra), L.A.U. (unidad de actividad de la lactasa) y UOPNG (unidades de ortonitrofenilgalactosa por gramo).
- **Especificaciones físicas y químicas**
 - Apariencia: líquida
 - Color: Amarillo claro
- **Especificaciones microbiológicas**
 - Recuento total: < 10 ufc / g
 - Coliformes: < 30 ufc / g
 - *E. coli*: Ausencia en 25 g
 - *Salmonella*: Ausencia en 25 g

La influencia de la temperatura y el pH con respecto a la actividad de la enzima se muestran en las figuras 1 y 2.

**Agroalimentar Cía. Ltda.**
Innovación y Calidad

Bartolomé Sánchez N 71-68 y Sebastián Moreno, CARCELÉN INDUSTRIAL • Pbx: 2485 050 • Telf.: 2485 049
E-mail: info@agroalimentar.com.ec • www.agroalimentar.com.ec • Quito - Ecuador

FICHA TÉCNICA	
MAYALACT 2000	
Versión: 01	Página: 2 de 6

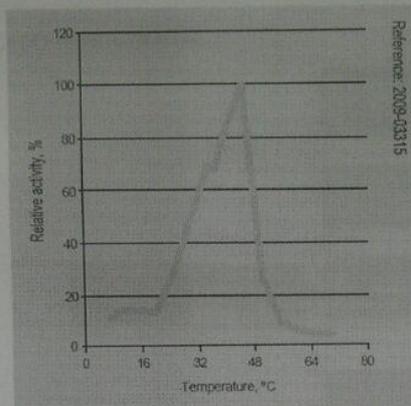


Fig. 1. Influence of temperature on activity

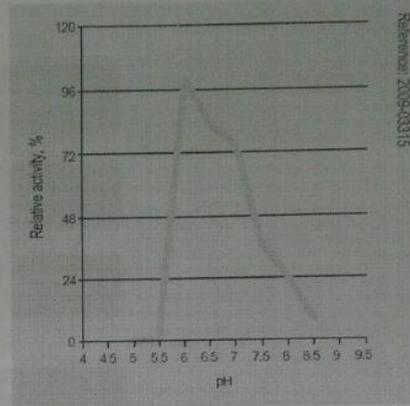


Fig. 2. Influence of pH on activity

5. Rendimiento y uso

Mayalact hidroliza la lactosa para formar una mezcla de glucosa y galactosa. Trabaja en pH encontrado en leche y derivados como: la leche fresca, leche UHT, helados, yogures y dulce de leche.

El grado de hidrólisis (DH%) de la lactosa se determina por cromatografía líquida a alta presión (HPLC) y se define como:

$$\% \text{ DH} = \frac{\text{Glucosa (mM)}}{\text{Contenido inicial de lactosa (mM)}} \times 100 \%$$

Una definición alterna es:

$$\% \text{ DH} = \frac{\text{Contenido inicial de lactosa} - \text{lactosa después de la reacción}}{\text{Contenido inicial de lactosa}} \times 100 \%$$

Donde la lactosa se mide en g / L o m M. Varios otros métodos de medición % DH están disponibles, incluyendo las determinaciones osmométricas, enzimáticas y colorimétricas.

Al mantener el tiempo, la temperatura, y la enzima de dosificación constante, el DH% puede ser reproducida de lote a lote.

Mayalact pueden aplicarse sin riesgo de dos procesos estándar:

- El proceso tradicional baja en lactosa
- El proceso UHT

PROCESO TRADICIONAL

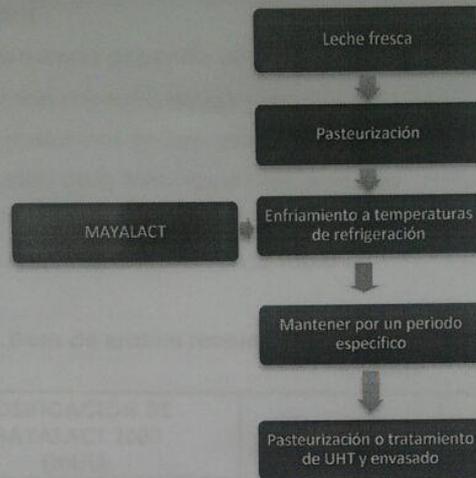


Fig. 3 Proceso tradicional

PROCESO UHT - FILTRACIÓN

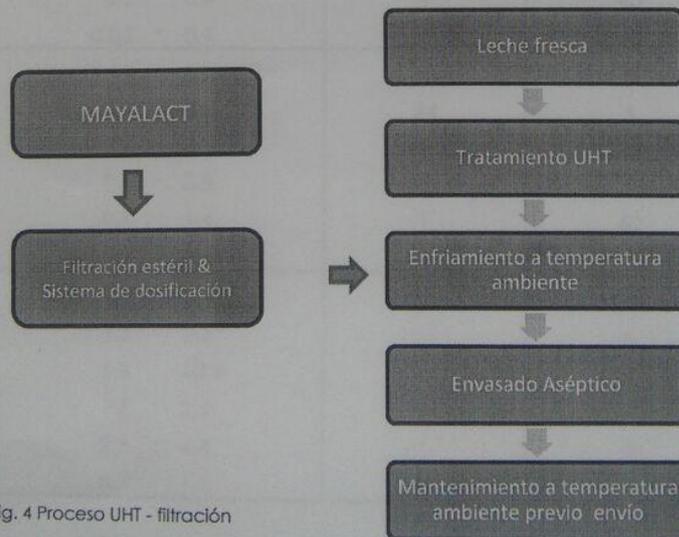


Fig. 4 Proceso UHT - filtración

FICHA TÉCNICA

MAYALACT 2000

Versión:
01

Página:
4 de 6

6. Dosis

La dosis requerida depende de un número de condiciones, incluyendo:

- Grado deseado de hidrólisis
- Condiciones de proceso
- Fuerza de la formulación del producto

Las dosis típicas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Dosis de enzima recomendada para diferentes condiciones de procesos con lactasa

DOSIFICACIÓN DE MAYALACT 2000 (ml/L)	Tiempo de reacción (horas)	Temperaturas de reacción (°C)	Grado de Hidrólisis (%)
0.3 - 0.5	10	5	20
0.1 - 0.2	24	5	20
0.5 - 0.9	1	30	20
0.1 - 0.2	4	30	20
0.2 - 0.4	1	40	20
0.05 - 0.1	4	40	20
1 - 0.6	10	5	50
0.5 - 0.7	24	5	50
2.1 - 3.1	1	30	50
0.5 - 0.8	4	30	50
0.9 - 1.4	1	40	50
0.2 - 0.4	4	40	50
3.5 - 5.4	10	5	80
1.5 - 2.2	24	5	80
6.9 - 10.4	1	30	80
1.7 - 2.6	4	30	80
2.9 - 4.4	1	40	80
0.7 - 1.1	4	40	80

7. Almacenamiento y expiración

Se recomienda mantener en un lugar fresco (4 – 8 °C), seco y protegido de la luz. En estas condiciones el producto se utiliza mejor dentro de los 24 meses desde su fabricación. Si el almacenamiento se prolonga o las condiciones de almacenamiento no se cumplen debido al hecho de que el producto es expuesto a altas temperaturas o alta humedad puede ser necesario el incremento de la dosis.

8. Embalaje

Mayalact está disponible en bidones plásticos de PE de 1 y 20 Kg.

9. Precauciones

Las enzimas pueden causar irritación en la piel y ojos. Deben llevarse a cabo procedimientos regulares de manejo del producto para evitar el contacto con el producto.

10. Estatus OGM

Según lo dispuesto en la Directiva de la UE n.2001 / 18 / CE - Reglamento n° 1829/2003 y Reglamento n° 1830/2003 Mayalact no contiene organismos modificados genéticamente y no es producido a partir de organismos modificados genéticamente.

11. Recomendaciones tecnológicas

- Se recomienda cíclico mezclado lento y constante de la mezcla de leche.
- Tras el final de la hidrólisis, el proceso de fabricación tecnológica es estándar.
- El proceso de hidrólisis puede llevarse a cabo tanto en la leche pasteurizada y cruda con un seguimiento regular del crecimiento bacteriano (acidez titulable)
- 30-40% es un grado suficiente de hidrólisis para evitar la cristalización de la lactosa en los productos lácteos en conserva.
- Se debe recordar que la producción de productos de leche fermentada, la hidrólisis estimula el crecimiento de *St.termophilus* y *L. bulgaricus*.
- La cantidad de azúcar para los alimentos dulces debe ser regulada porque los productos de hidrólisis de la lactosa dan dulzura.

Métodos de hidrólisis en la producción de productos de leche fermentada:

- Hidrólisis preliminar a bajas temperaturas de leche pasteurizada;
- Hidrólisis preliminar a altas temperaturas (no más de 40 ° C) de leche pasteurizada;
- Hidrólisis simultánea y aumento de la acidez de la leche (al 37-40 ° C y un pH de aproximadamente 6,6 durante 3-4 horas). Al utilizar este método, debe

ANEXO E. Algunas fuentes de β -galactosidasa

Fuentes de Lactasa	
Plantas	Melocotón Almendras Albaricoque Granos de Kefir Tipos de rosas silvestres Semilla de alfalfa Bayas de café
Organos de animales	Intestino Tejidos de la piel y sesos
Levaduras	<i>Kluyveromyces (Saccharomyces) lactis y fragilis</i> <i>Candida pseudotropicalis</i> <i>Wingea roberstii</i>
Bacterias	<i>Escherichia coli</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Thermus aquaticus</i> <i>Streptococcus lactis y thermophilus</i> <i>Lactobacillus bulgaricus y helveticus</i> <i>Bacillus circulans</i> <i>Bacillus stearothermophilus</i> <i>Lactobacillus sporogenes</i>
Hongos	<i>Neurosporas crassa</i> <i>Aspergillus foetidus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus oryzae</i> <i>Aspergillus phoenicis</i> <i>Mucor puicillus</i> <i>Mucor miehe</i> <i>Scopuloriopsis</i> <i>Alternaria palmi</i> <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Alternaria alternata</i>

Fuente: (Ladero, 1999)

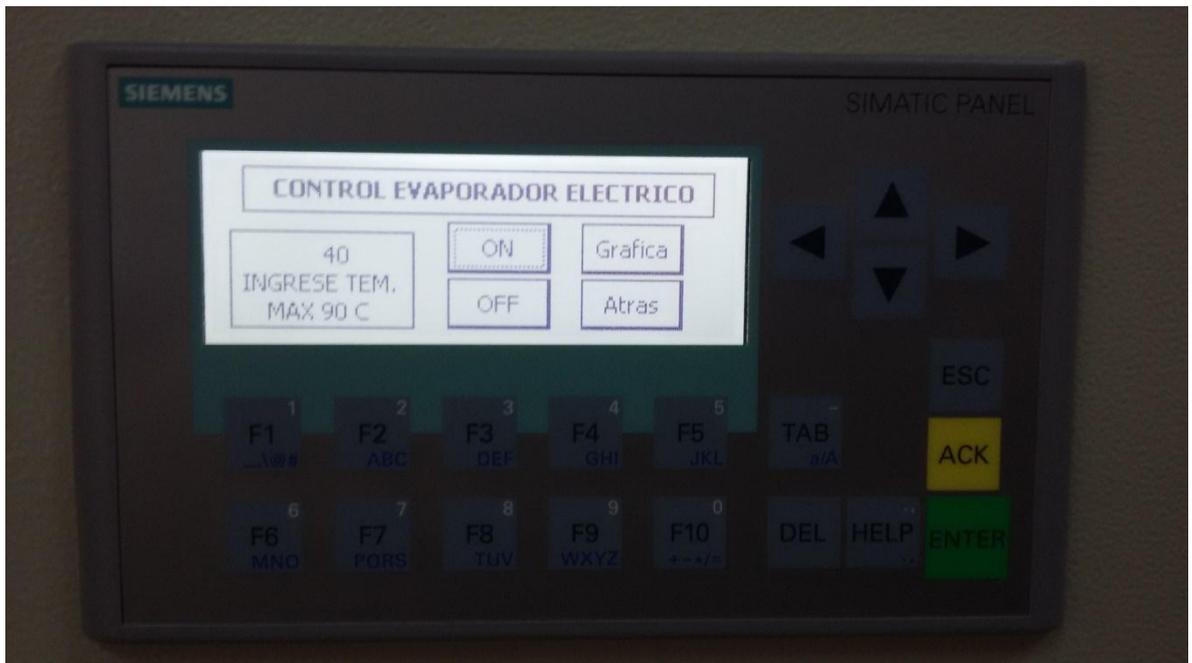
ANEXO F. Fotografías del lavado del equipo del proceso de producción de lactosuero a nivel semi industrial



ANEXO G. Fotografías del pasteurizado del suero



ANEXO H. Fotografía de la programación de la temperatura



ANEXO I. Fotografías de la adición de la enzima



ANEXO J. Fotografías de la pesada y adición de aditivos



ANEXO K. Resultados de la caracterización fisicoquímica del jarabe de suero



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA EN ALIMENTOS
LABORATORIO DE CONTROL Y ANALISIS DE ALIMENTOS



Dir: Av. Las Charquis y Río Payamino, Bauchi, Telf.: 2 400987 ext. 114, e-mail:faconal@uta.edu.ec; faconal@hotmail.com
 Ambato-Ecuador

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No:17-228

B1-01-05

Solicitud N°: 17-228 Pag. 1 de 1
 Fecha recepción: 15 de junio de 2017 Fecha de ejecución de ensayos: 16 al 26 de junio de 2017

Información del cliente:	
Empresa:	C.I./RUC: 1883491719
Representante: Evelyn Medina Llerena Takeda	Tel: 2746999
Dirección: Simon Bolívar y Granja Morano	Celular: 0984884134
Ciudad: Quito	E-mail: sweetev92@gmail.com
Descripción de las muestras:	
Producto: Jarabe (aderezos alimenticio)	Peso: 130 g cada uno
Marcas comerciales: n/a	Tipo de envase: frasco de plástico
Lote: n/a	No de muestras: una
F. Exp.: n/a	F. Exp.: n/a
Conservación: Ambiente: X Refrigeración: Congelación:	Almac. en Lab: 30 días
Cierre seguridad: Ninguno: X Intactos: Boton:	Muestra por el cliente: 15 de junio de 2017

RESULTADOS OBTENIDOS

Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Jarabe (aderezos alimenticio)	22817329	4853	Cenizas	AOAC 920.18: Ed 20, 2010	%	1,24
			Proteína	AOAC 962.18: Ed 20, 2010	%(N x 6,25)	2,89
			Sólidos Totales	AOAC 925.07: Ed 20, 2010	%	71,9
			Fibra dietaria total	AOAC 985.29: Ed 20, 2010	%	0,498
			Carbohidratos Totales	Cálculo	%	62,6
			Energía	Cálculo	kJ/100 g	1272
					kcal/100 g	304
			Cenosa	PEUR-5-4-PQ: AOAC: Ed 20, 2010 2003.09	%	4,66
			pH	AOAC 942.15: Ed 20, 2010	Unidades de pH	6,54
			Acidez	AOAC 942.15: Ed 20, 2010	mg/100 g Ácido cítrico	0,147
			Densidad Relativa	DIN EN 201	Adimensional	2,275
			Sólidos Solubles	AOAC 932.12 / DM 54-99	%Bx	68
Sólidos Insolubles	DIN EN 1635	%	5,70			

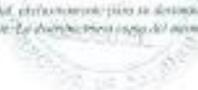
Conds. Ambientales: 18,4 °C; 46%HR


 Ing. Gladys Risueño
 Directora de Calidad

Autorización para transferencia electrónica de resultados: SI 13

Nota: Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida. El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento susceptible de ser utilizado en procedimientos legales.

*La información que se está enviando es confidencial, por favor no divulgarla, y no puede ser utilizada. Si usted es el destinatario de esta información recomendamos el manejo responsable. La distribución o copia del mismo, así como la divulgación o uso no autorizado quedan expresamente prohibidos.



ANEXO L. Resultados del examen bromatológico del suero con enzima

SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

EXAMEN BROMATOLÓGICO DE ALIMENTOS CÓDIGO 087-17

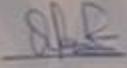
CLIENTE: Srta. Evelyn Llerena	CÓDIGO 087-17	
DIRECCIÓN: Av. 11 de Noviembre	TELÉFONO: 0984604134	
TIPO DE MUESTRA: Suero con enzima		
FECHA DE RECEPCIÓN: 18 de abril del 2017		
FECHA DE MUESTREO: 18 de abril del 2017		

EXAMEN FÍSICO
COLOR: Blanquecino
OLOR: Característico
ASPECTO: Normal, libre de material extraño

PARÁMETROS	MÉTODO	RESULTADO
AZUCARES TOTALES %	INEN	6.20

OBSERVACIONES:

FECHA DE ANÁLISIS: 19 de abril del 2017
FECHA DE ENTREGA: 20 de abril del 2017
RESPONSABLE:


SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

Dra. Gina Álvarez R.

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.
*Las muestras son receptadas en laboratorio.

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Contactanos: 0998580374 - 032942322 o 0984648617
Riobamba - Ecuador

ANEXO M. Resultados del análisis de glucosa en el suero de leche


NOVALAB LABORATORIO CLINICO
BACTERIOLOGICO
Lic. Gabriela Sánchez
LICENCIADA EN LABORATORIO

Atención: De lunes a sábado de 7:00a.m. a 17:00p.m.
Dirección: Pasaje ESPOCH y Av. Pedro Vicente Maldonado
Teléfono: 0999985446

Solicita Dr(a).
Paciente: Srta. Evelyn Llerena
Fecha: 25- 04 - 2017
Muestra: Suero de Leche

SUERO:	PRUEBA:	pH:	R. BIOLÓGICO	Densidad
1 ^{ro}	GLUCOSA = 480 mg/dL	5,0	60-110	1.025
2 ^{do}	GLUCOSA = 484 mg/dL	5,0	60-110	1.025
3 ^{ro}	GLUCOSA = 498 mg/dL	5,0	60-110	1.025
4 ^{to}	* GLUCOSA=52 mg/dL	5,0	60-110	1.025
5 ^{to}	-	6,5	60-110	1.015

* RESULTADO CONFIRMADO.

Atentamente:



ANEXO N. Resultados del análisis microbiológico del suero de leche

SAQMIC
Servicio de Análisis Químicos y Microbiológicos
Av. Pinar y República

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS CÓDIGO 299.47

CLIENTE: Sra. Evelyn Llerena
DIRECCIÓN: Insuamita
TIPO DE MUESTRA: Jarabe de chocolate con leche entero
FECHA DE RECEPCIÓN: 03 de agosto del 2017
FECHA DE MUESTREO: 07 de agosto del 2017

TELÉFONO: 0998580374

EXAMEN FÍSICO
COLOR: Claro
OLOR: Característico
ASPECTO: Homogéneo, sin material extraño

PARÁMETROS	MÉTODO	RESULTADO
Conformar Acidez LCPure	NORMA NEN 1425-7	Ausencia
Conformar Acidez LPCes	NORMA NEN 1425-8	Ausencia

FECHA DE ANÁLISIS: 03 de agosto del 2017
FECHA DE ENTREGA: 07 de agosto del 2017
RESPONSABLE:

[Firma]
Servicio de Análisis Químicos y Microbiológicos
Dra. Gina Álvarez R.

El informe sólo afecta a la muestra etiquetada a ensayo; el kitama no deberá reproducirse en su totalidad previo autorización de los responsables.

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Teléfonos: 0998580374 - 032942322 ó 0984648617

ANEXO O. Modelo de la encuesta formulada para conocer la aceptación del público del jarabe de lactosuero

HOJA DE RESPUESTA

Nombre: _____ Fecha: 25 de mayo 2017

Edad: _____

Producto: Jarabe de lactosuero

Instrucciones:

Por favor pruebe las muestras en el orden que le indicamos: Primero la muestra 5770 y segundo la muestra 3649 y finalmente la muestra 4853

Señale cual Jarabe le ha gustado más: 5770____ 3649____ 4853____

Por favor denos su criterio respecto al Jarabe de su preferencia sobre las siguientes características:

ATRIBUTO	ME GUSTA	NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA	NO ME GUSTA
COLOR			
CONSITENCIA			
SABOR			

Comentarios:

¡Gracias por su participación!

ANEXO P. Fotografías de la aplicación de la encuesta







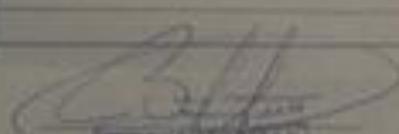
ANEXO Q. Cotización de la marmita

RIOLAC
 VENTA DE EQUIPOS - MAQUINARIA E INSUMOS PARA LA TERCEIRA
 CARNICOS Y BARRERADAS
 Avenida Ocho 2227 y Calle 148 - No. 1001 400 001 - CARRASQUELO
 BARRERAS Y MAQUINARIA S.A.
 BOGOTÁ - COLOMBIA

PROFORMA N° 0001514

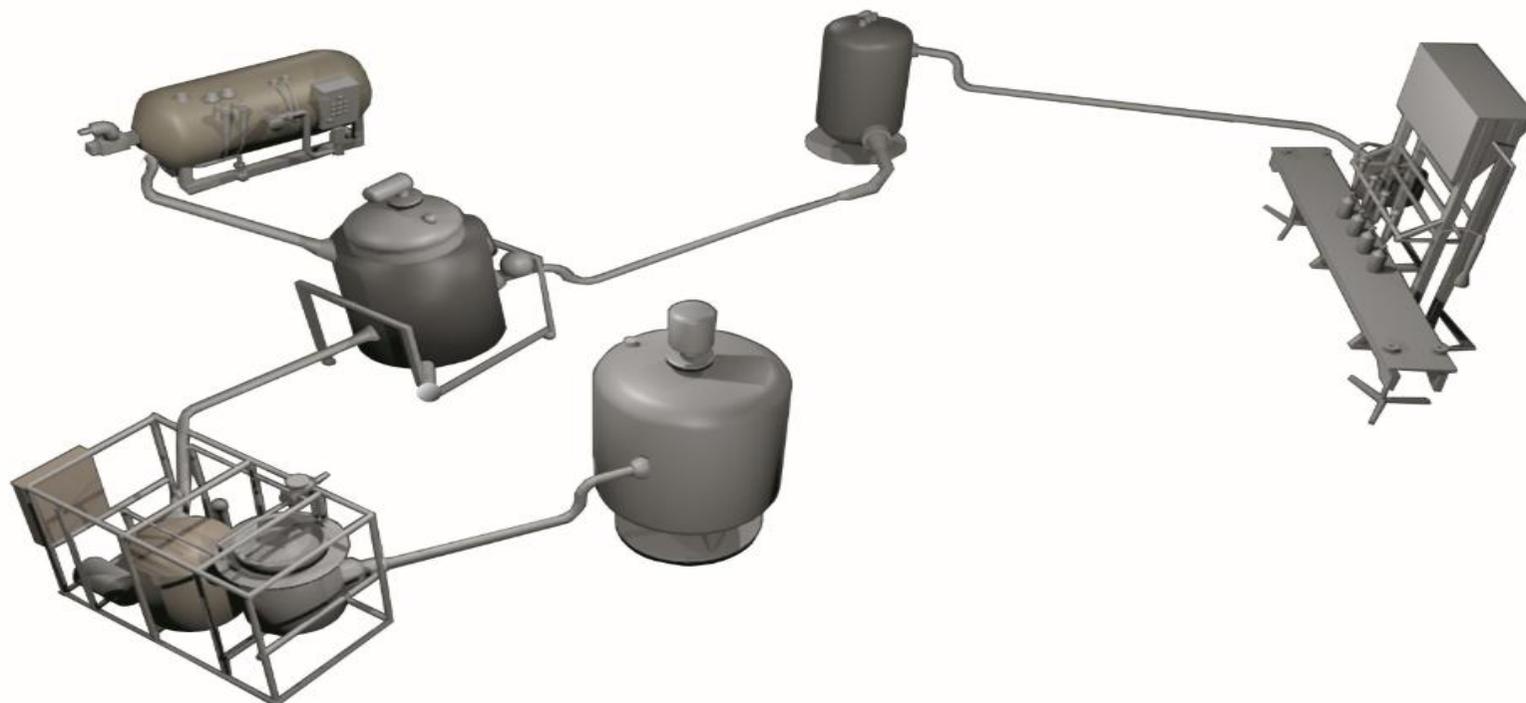
Lugar y Fecha: Carrasqueño, 2 de Agosto del 2013
 Cliente: Escuela Primaria

CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
1	Marmita industrial de aluminio capacidad 40 litros, 210 cm de altura con 4 patas, 2 ruedas, 1000 Watts LMC - 60 litros, 210 cm de altura con 4 patas, 2 ruedas, 1000 Watts Incluye: manual de instrucciones, garantía de 12 meses y servicio técnico en el momento de la entrega. Incluye: 1 año de garantía y servicio técnico en el momento de la entrega.		2400,00
		SUB TOTAL US \$	2400,00
		IVA 12% US \$	288,00
		VALOR TOTAL US \$	2688,00


 Firma Autorizada

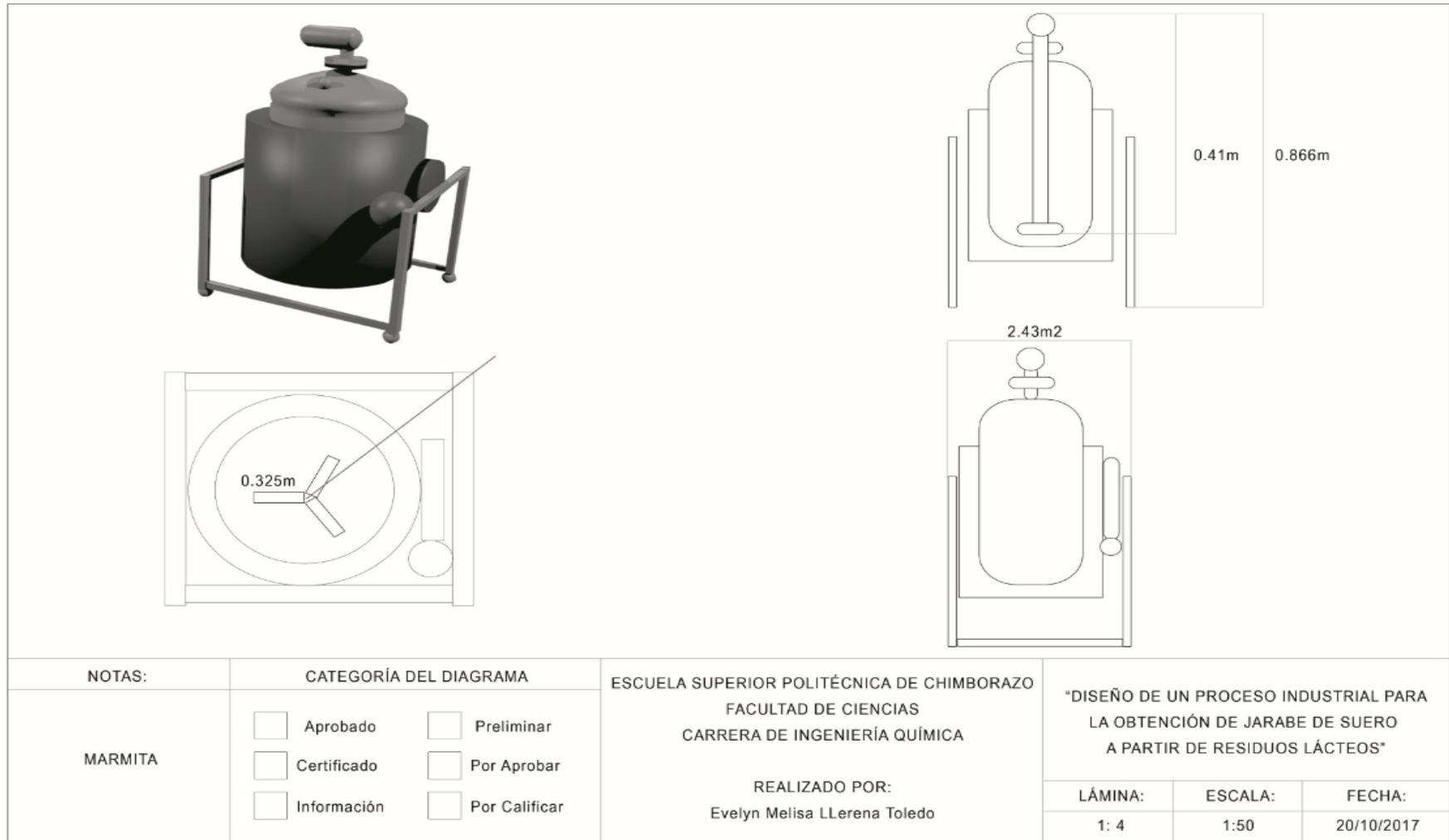
CONDICIONES:
 FORMA DE PAGO: 70% entrega - 30% entrega
 TIPO DE ENTREGA: 15 días
 GARANTIA: 1 año

ANEXO R. Plano General



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	"DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE JARABE DE SUERO A PARTIR DE RESIDUOS LÁCTEOS"		
PLANO GENERAL	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por Calificar	FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Evelyn Melisa Llerena Toledo			
	1: 4		1:50	20/10/2017	

ANEXO S. Marmita



ANEXO T. Etiqueta



Jarabe de lactosuero

Valor Nutricional	
Proteína	2,89%
Energía B04	kcal/100g
Grasa	4,66%
Carbohidratos	62,6%