

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Miller y Balbastro (2014) encontraron lo siguiente:

La historia dice que... Aunque Chile, Perú y Uruguay se disputaban con la Argentina la paternidad del dulce de leche, la tradición oral bonaerense cuenta que este manjar típicamente argentino fue creado por casualidad el 24 de junio de 1829, en la estancia la Caledonia donde se firmó el “Pacto de Cañuelas” entre Juan Manuel de Rosas-jefe de las fuerzas federales, y el comandante del ejército unitario, Juan Lavalle, otros dicen un “Dulce Descubrimiento”. A pesar de las confusiones y las controversias, no es lo mismo que el “manjar blanco” porque este tiene fécula de maíz o gelatina y el verdadero dulce de leche es solo leche y azúcar. En el museo histórico de la nación, y en un manuscrito de puño y letra de Juan Manuel de Rosas se cuenta el origen del famosísimo dulce de leche. En 1829, en Cañuelas que es una localidad que está a 65 kilómetros de la capital Federal, se reunieron en la estancia de Rosas este y su enemigo el unitario Juan Lavalle. La presentación al mundo ocurrió casi 100 años después, en 1921, cuando se celebró en Washington la Primera Exposición Regional de Lechería. El dulce de leche es un producto de gran consumo en todos los países latinoamericanos y tiene diferentes nombres y procesos de elaboración de acuerdo al País. Por ejemplo en Perú se lo denomina “Manjar Blanco”, en Ecuador se lo denomina “Manjar de Leche” y es producto de color café claro, en Colombia se lo conoce como “Arequipe”, en Argentina, Uruguay, Paraguay se lo denomina como “Dulce de Leche” y estos son más viscosos y oscuros. Asimismo su consumo se ha difundido y está en creciente expansión en Estados Unidos y en Europa. (pag.1).

Nidya Vásquez, en su libro *Dulces Corpus*, menciona:

“El propio nombre de Dulces de Corpus“, rememora el sabor de la cuencanidad, de Morlaquia y tradición. Es una vieja tradición traída de España, y principalmente de Sevilla.

La historia del dulce de leche ha ido evolucionando con el paso de los años dentro de Sudamérica, y que la influencia de la gastronomía de los conquistadores españoles

quedó muy marcado debido a que las tradiciones se mantuvieron dentro de algunos conventos y en las festividades.

A continuación en la Tabla I-1 se ve la producción de dulce de leche en los últimos 7 años, en la planta PIL Tarija S.A.

Tabla I-1: Producción de Dulce de Leche en PIL Tarija S.A., en los últimos siete Años

Año	Producción Total (kg)	Total producción de unidades de ¼ kg	Total producción de unidades de ½ kg	Nº de Procesos elaborados
2012	15737	3900	29524	76
2013	31956,25	8817	59504	155
2014	33097	7954	62217	161
2015	37968,25	21599	65137	184
2016	42016,75	32181	67943	204
2017	42945,75	28585	71599	209
2018	43630,5	31500	72292	212

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

En la tabla I-2, se refleja el abastecimiento a los mercados (Comercial, Licitación y mercado Subsidio y Lactancia), en el año 2018 desde marzo hasta octubre.

Tabla I-2: Abastecimiento de dulce de leche de PIL Tarija a los mercados; comercial, licitación, subsidio y lactancia de la ciudad de Tarija-Bolivia, Gestión 2018 (Unidades de ¼ kg)

Año	Mes	Total producción de unidades de ¼ kg	Mercado Comercial	Licitación	Canasta Familiar	Lactancia	(Σ) Total de unidades vendidas de ¼ kg
2018	Marzo	1500	300	300	450	450	1500
2018	Abril	6000	1200	1200	1800	1800	6000
2018	Mayo	1500	300	300	450	450	1500
2018	Junio	9000	1200	1200	3300	3300	9000
2018	Julio	1500	300	300	450	450	1500
2018	Agosto	1500	300	300	450	450	1500
2018	Septiembre	1500	300	200	450	450	1500
2018	Octubre	9000	.200	1200	3300	3300	9000
Unidades Totales de ¼ kg de dulce de leche producidas							31500

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

En la tabla I-2, se refleja la cantidad de unidades de ¼ kg de dulce de leche producido en la gestión 2018, al igual que en la tabla I-3 se muestra la cantidad de unidades de ½ kg de dulce de leche producido en la misma gestión.

Tabla I-3: Abastecimiento de dulce de leche de PIL Tarija a los mercados; comercial, licitación, subsidio y lactancia de la ciudad de Tarija-Bolivia, Gestión 2018 (Unidades de ½ kg)

Año	Mes	Total producción de unidades de ½ kg	Mercado Comercial	Licitación	Canasta Familiar	Lactancia	(Σ) Total de unidades vendidas de ½ kg
2018	Marzo	9037	3000	1037	2000	3000	9037
2018	Abril	9037	3000	1037	2000	3000	9037
2018	Mayo	9037	3000	1037	2000	3000	9037
2018	Junio	9037	3000	1037	2000	3000	9037
2018	Julio	9037	3000	1037	2000	3000	9037
2018	Agosto	9037	3000	1037	2000	3000	9037
2018	Septiembre	9035	3000	1037	2000	3000	9035
2018	Octubre	9035	3000	1037	2000	3000	9035
Unidades totales de ½ kg de dulce de leche producidas							72292

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

En Tarija el principal productor de dulce de leche de renombre es PIL Tarija S.A., producto aceptado por su valor nutricional, (ver tabla I-4); los componentes más importantes están tabulados en base a una porción de aproximadamente 9 gramos, (equivalente a una cucharada).

Tabla I-4: Valor Nutricional de Dulce de Leche PIL Tarija S.A.

Componentes	Valor Nutricional
Calorías	26 Kcal
Grasa	0,65 g
Colesterol	5 mg
Sodio	18mg
Carbohidratos	4,5 g
Proteínas	0,65 g
Calcio	26 mg
Fósforo	23 mg

Fuente: PIL Tarija S.A, (2018) ANEXO 10

La planta PIL Tarija elabora dulce de leche estandarizado, en cuanto a su sabor, color, olor y textura; sin embargo este producto está garantizado para tres meses de vida de consumo en el mercado, lo cual no se cumple porque en el transcurso de su tiempo de vida útil presenta formación de cristales de azúcares, por lo cual se realizará un estudio tanto en su formulación de ingredientes, parámetros de tiempo y temperatura de concentrado, u otro aspecto el cual no permita la formación de cristales de azúcares en el dulce de leche, durante el tiempo de vida de anaquel.

1.2. OBJETIVOS

En el **ANEXO 1**, se muestra el árbol de problemas que nos permite asociar las causas y los aspectos relacionados al objetivo propuesto con la producción de dulce de leche en la planta PIL Tarija S.A.

1.2.1. Objetivos General

Optimizar el proceso de elaboración de dulce de leche en la planta PIL Tarija S.A. para evitar la cristalización de azúcares.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el producto actual de dulce de leche elaborado en PIL Tarija S.A.
- Describir el proceso actual de elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.
- Conceptualizar e identificar el problema de cristalización de azúcares en el proceso de elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.
- Caracterizar la materia prima utilizada en la elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.
- Seleccionar la alternativa de solución para optimizar el proceso de elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.
- Ejecutar la fase experimental de optimización del proceso de elaboración de dulce de leche en la planta PIL Tarija S.A.
- Caracterizar el producto obtenido experimentalmente en base a fundamentos teóricos establecidos bibliográficamente.
- Especificar el nuevo proceso optimizado de elaboración de dulce de leche en planta PIL Tarija S.A.
- Cuantificar la inversión y realizar el análisis económico del proceso optimizado de elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El problema de cristalización de azúcares en el dulce de leche, da una mala textura, consistencia, apariencia entre otros aspectos, para deleite del paladar.

Actualmente la vida útil de consumo del dulce de leche en PIL Tarija S.A, es de tres meses, este producto es de mayor comercialización en la ciudad de Tarija; ahora bien, se analiza la vida de consumo de otros dulces de leche de competencia en el mercado Nacional que se muestra en la tabla I-5.

Tabla I-5: Análisis del Mercado Nacional de las empresas más importantes en competencia en el producto de Dulce de Leche

Nombre de la Empresa	Ciudad	País	Tiempo de vida de Anaquel (meses)
Dulce Vida	Santa Cruz	Bolivia	5
PIL Andina S.A.	Santa Cruz	Bolivia	6
Industrias Lácteas La Paz SRL	La Paz	Bolivia	5
Lácteos Bolivia	La Paz	Bolivia	5
PIL Andina S.A.	Cochabamba	Bolivia	6
Productos de leche Cochabamba S.A.	Cochabamba	Bolivia	6
PIL Chuquisaca S.A.	Chuquisaca	Bolivia	5
PIL Tarija S.A.	Tarija	Bolivia	3

Fuente: Guía de Negocios Bolivia- agroindustrias-Productos Lácteos. (2016)

1.3.1. Justificación Tecnológica

La optimización en el proceso industrial de dulce de leche, mediante la realización de un proceso de optimización en los procedimientos y parámetros de elaboración del dulce de leche, garantiza la calidad y homogeneidad del producto.

1.3.2. Justificación Económica

Se tiene los siguientes beneficios, que se darán mediante la nueva vida de Anaquel:

- Incremento de la venta del producto, al tener un mayor tiempo de consumo.
- Asegurar el mercado, para que la competencia no se adueñe de los mercados que distribuye la planta PIL Tarija S.A.
- Extender el producto para su venta a nivel Nacional, para poder incrementar nuevos ingresos para la planta PIL Tarija S.A.

1.3.3. Justificación Social

A pesar de que existen procesos artesanales en la región de Tarija para la elaboración de dulce de leche, y también productos importados del país vecino Argentina, al optimizar (perfeccionar) el proceso de elaboración de dulce de leche en la planta PIL Tarija, es una alternativa de mejora al producto terminado, para el consumo de la población tarijeña.

1.3.4. Justificación Ambiental

Este proyecto no afecta al medio ambiente, ya que no se utiliza reactivos nocivos ni ninguna sustancia tóxica, que dañe considerablemente al entorno, esto se da porque solo se utiliza sustancias controladas en la elaboración de dulce de leche como ser bicarbonato de sodio, sorbato de potasio, espesante CMC, y el material de limpieza que se emplea en la desinfección de los equipos es el CLORBAC, un detergente alcalino de color dorado.

CAPÍTULO II
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PIL TARIJA
S.A.

2.1. ANTECEDENTES DE LA ORGANIZACIÓN EMPRESARIAL DE PIL TARIJA S.A.

Fue inaugurada el 17 de enero de 1978, esta a su vez estuvo dependiendo de la ex Corporación Boliviana de Fomento (CBF); mediante el decreto supremo 21060 la empresa se transfiere a la ex (CODETAR), dependiendo de esta hasta fines de la gestión 1995, época en la que es traspasada a capitales privados convirtiéndose en una sociedad anónima; desde entonces denominada Planta Industrializadora de Leche **PIL Tarija S.A.**

La Planta Industrializadora de Leche “PIL Tarija S.A.” legamente constituida el 8 de diciembre de 1995, elabora una variedad de productos lácteos y la comercialización de los mismos. Nace como sociedad anónima, compuesta por un grupo de empresarios, trabajadores y productores lecheros, con una inversión inicial de Dos millones cuatrocientos veintisiete mil 00/10 Bolivianos (Bs.2.427000) conformando 2.427 acciones, canceladas por dos series o grupos de accionistas. Serie “A” conformada por empresarios teniendo un 80 % y la serie “B” conformada por los productores lecheros y trabajadores, con un 20% de participación.

Esta empresa en su evolución ofrece a la población una amplia gama de productos de calidad, elaborados bajo estrictas normas de higiene y control de calidad a lo largo de todo su proceso y su comercialización. La planta PIL Tarija S.A. tiene como objetivo obtener productos de alta calidad derivados de la leche para satisfacer las necesidades de la población tarijeña.

2.1.1. Localización de PIL Tarija S.A.

La planta Industrializadora de leche PIL Tarija S.A., se encuentra en Bolivia Departamento de Tarija carretera a Bermejo Km 2, pero está facultada para establecer Sucursales, Agencias, Oficinas y representaciones en el interior del País, observando el código de comercio y demás leyes vigentes. Se localiza como se muestra en la figura 2-1.

En la figura 2-1, se muestra la macro localización de la planta PIL Tarija S.A.

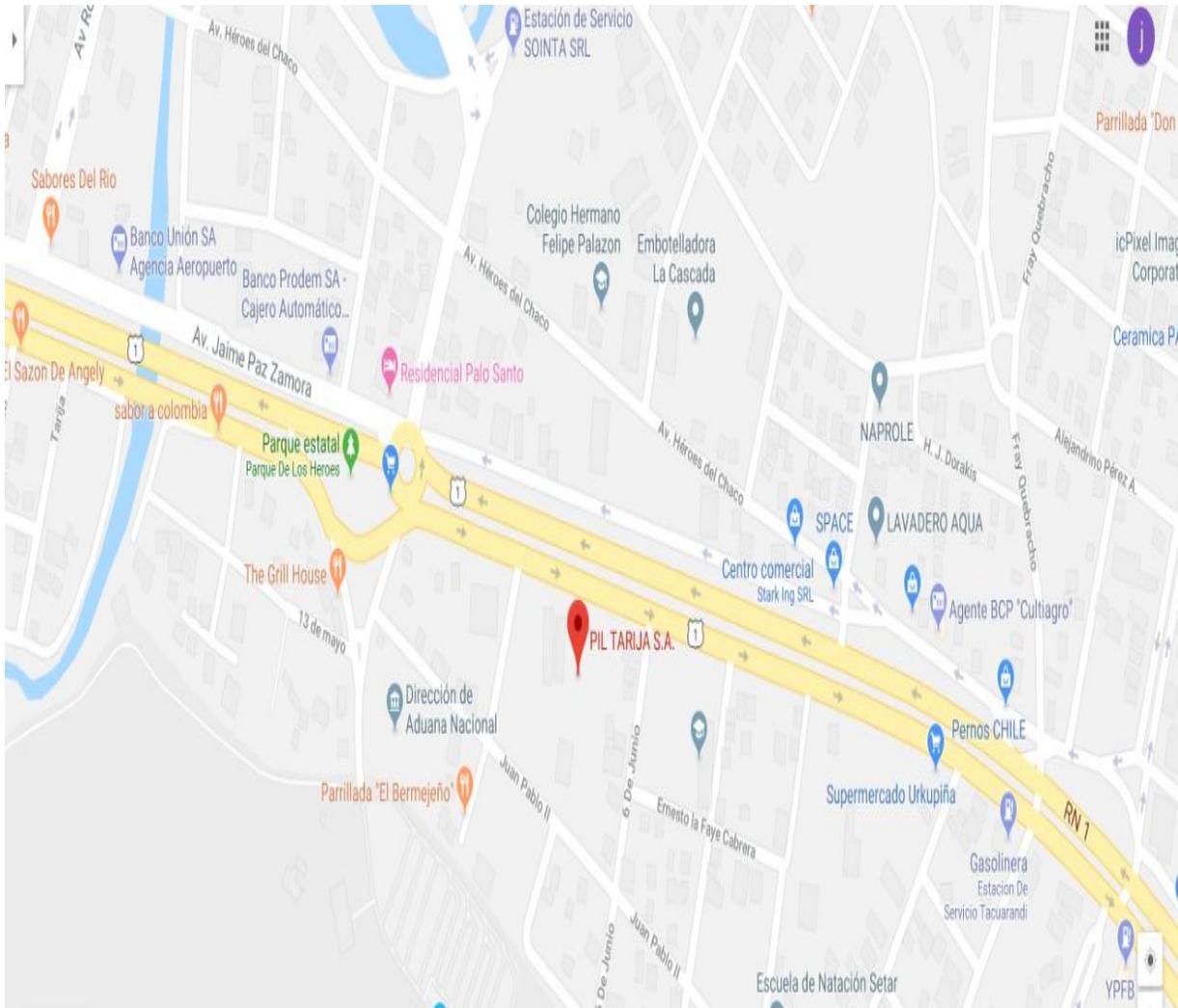
Figura 2-1: Macro Localización de PIL Tarija S.A.



Fuente: Google Mapas (2018)

A continuación en la figura 2-2, se muestra la micro localización de la planta PIL Tarija S.A.

Figura 2-2: Micro Localización de PIL Tarija S.A

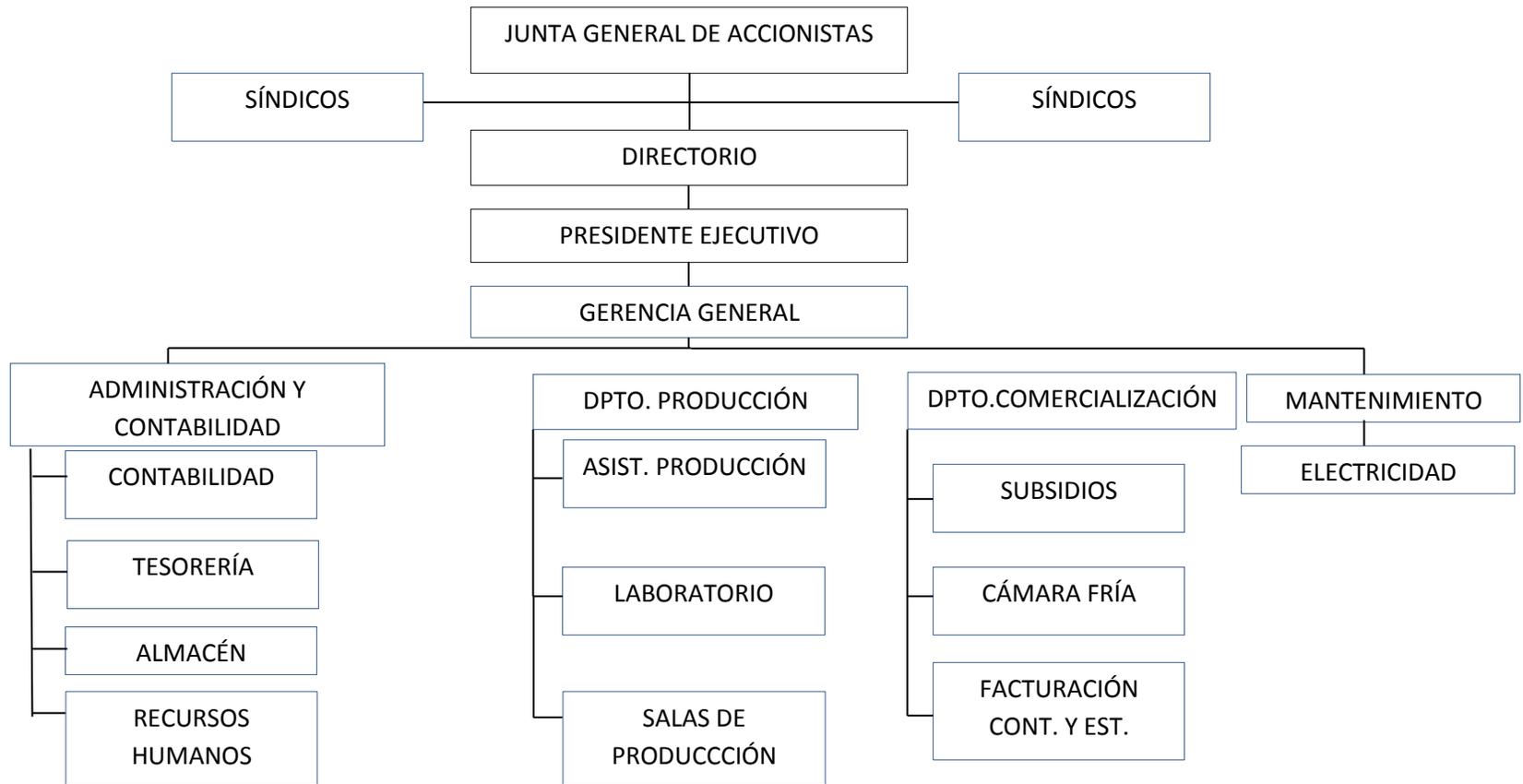


Fuente: Google Mapas (2018)

2.1.2. Organización Industrial

En la siguiente figura 2-3 se muestra la organización industrial de la planta PIL Tarija S.A.

Figura 2-3: Organización Industrial PIL Tarija S.A.



Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

Esta planta de productos lácteos está constituida actualmente en una sociedad anónima organizada en 2 series: la serie A (mayores accionistas) y la serie B (menores accionistas), ambas conforman un directorio que es el encargado de tomar todas las decisiones de importancia, esto con la ayuda de los cuatro departamentos en los que está dividida la planta que son:

- Departamento de Administración y Contabilidad.
- Departamento de Producción.
- Departamento de Comercialización.
- Departamento de Mantenimiento.

2.1.2.1. Departamento de Administración y Contabilidad

El departamento Administrativo está comprendido por una parte Gerencial, conformada por una junta de directorio, asesores y el personal de apoyo que cumple con las siguientes funciones:

- Planificación de la empresa.
- Control de los movimientos económicos.
- Control del personal en el cumplimiento de sus funciones.
- Control de las ventas e ingresos económicos.

2.1.2.2. Departamento de Producción

Es el departamento encargado del proceso y control de calidad.

Cuenta con un jefe de producción y un jefe de laboratorio, que cumplen las siguientes funciones:

- Controlar y dirigir las distintas salas de proceso
- Elaborar el plan de actividades diarias, horarios y controlar el cumplimiento de los procesos o producción.
- Observar las deficiencias y a su vez proponer modificaciones para mejorarlas
- Contribuir a nuevas formas de utilización de la materia prima, en nuevos productos lácteos.

2.1.2.3. Departamento de Comercialización

El departamento comercial ocupa un lugar destacado dentro de la organización de la empresa PIL Tarija, y es el encargado de realizar el marketing, planificación y control, estudio de mercado, promoción y publicidad del producto, ventas, y asimismo cumple diferentes funciones que son:

- Organiza el intercambio que se produce entre los productores de leche y los consumidores de los productos lácteos; esto se refiere a la organización que se tiene con los lecheros en la entrega de la leche en cuanto a su paga, y también el precio de los productos lácteos distribuidos al mercado de Tarija.
- Capacita y motiva a los componentes de una organización y también capacita para las tareas relacionadas con la preparación, asignación de precios, la distribución, la promoción y la introducción en el mercado del producto dirigido a los clientes.
- Analiza las necesidades del mercado para así poder desarrollar nuevos productos que sean rentables.

2.1.2.4. Departamento de Mantenimiento

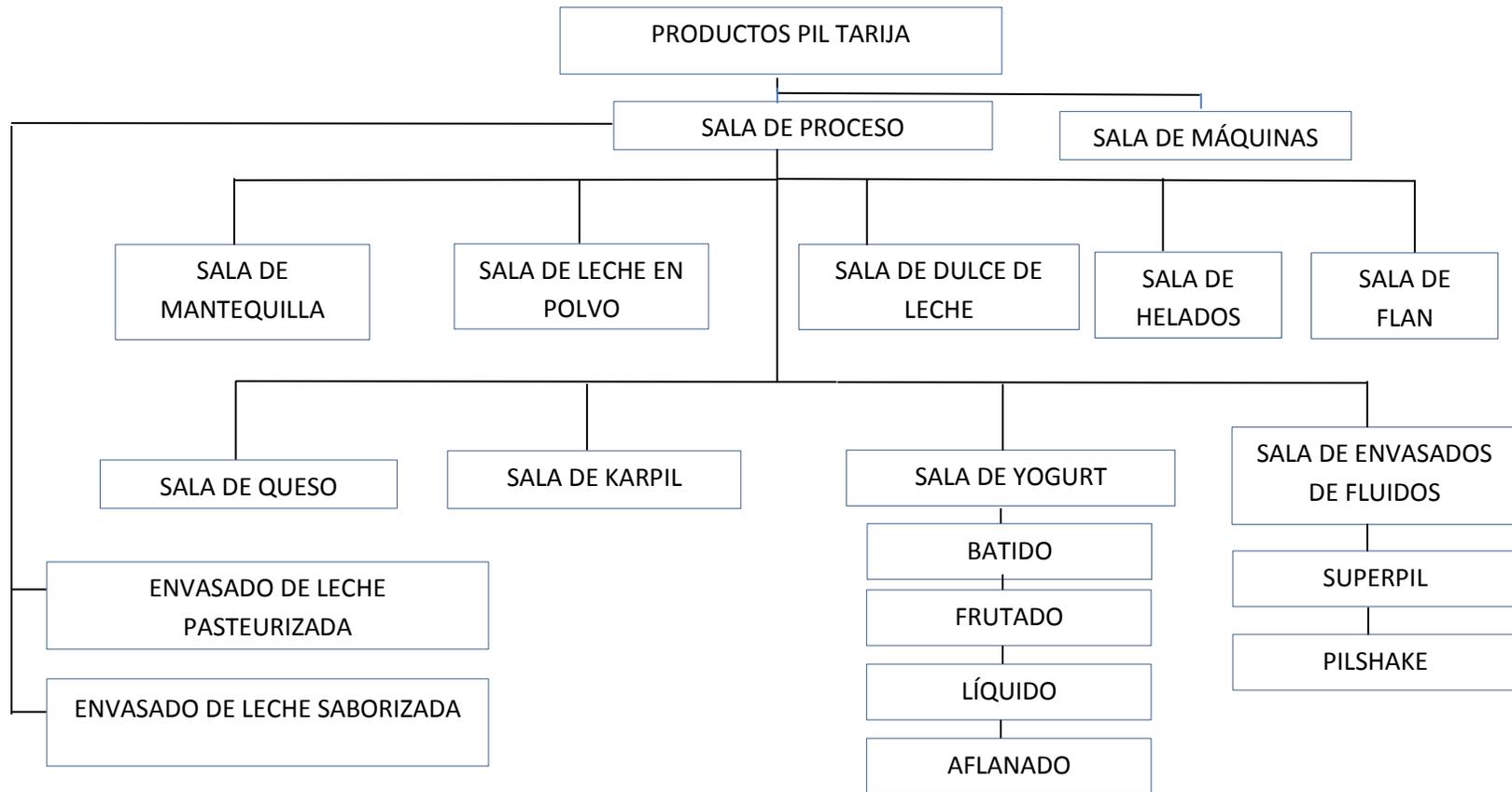
En cuanto a mantenimiento es el encargado de mantener los equipos e instalaciones de la planta los cuales cumplen las siguientes funciones:

- Control de equipos e instalaciones de la planta, es decir, mantenerlas en un buen estado para su buen funcionamiento. Este control es importante para poder iniciar cualquier proceso lácteo.
- Observar las deficiencias de dichos equipos y mejorarlos. Con la ayuda de los trabajadores de cada área se llega a encontrar la falla del equipo de proceso, ya que ellos conocen el funcionamiento del equipo.

2.1.3. Descripción de las salas o secciones de PIL Tarija S.A.

PIL Tarija ofrece a los mercados variedades de productos los mismos que son elaborados en diferentes salas que se detalla en la siguiente figura 2-4: y se presenta un plano de distribución de la planta en el **ANEXO 2**.

Figura 2-4: Productos Elaborados en PIL Tarija S.A.



Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

2.1.3.1. Sala de procesos

En esta sala es donde se realiza los diferentes tratamientos térmicos a la leche cruda:

- Para los procesos respectivos se la estandariza; esto se refiere a un modo o método establecido, aceptado y normalmente seguido para realizar determinado tipo de actividades o funciones como ser homogenización y pasteurización, para posteriormente producir: leche en polvo, Superpil, Pilshake, leche pasteurizada, dulce de leche, leche con avena, leche para producir queso, leche para helado batido, leche para helado Picolé de crema; se estandariza la crema para envasado.
- Distribuir y estandarizar la leche para sus respectivos procesos. A continuación en la tabla II-1 se muestra la de estandarización de la leche.

Tabla II-1: Estandarización % MG de la leche en PIL Tarija S.A.

Destino	% MG
Leche Pasteurizada	2,80
Pilshake	2,00
Superpil	2,00
Leche para Queso	3,00
Leche para Mantequilla (Crema)	28
Leche en Polvo Entera	2,70
Leche en Polvo Descremada	0,00
Leche con avena	2,00
Yogurt	2,00
Helados	2,5
Karpil	0,00
Dulce de leche	3,00
Total	50,0

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

- Reconstituir la leche (de leche en polvo descremada a leche fluida), esto se refiere a poder volver a dar su forma inicial de la leche que es fluida. En los tanques de reconstitución estandarizado en %SNG y %MG para elaborar yogurt batido, flan, karpil, yogurt frutado, yogurt aflanado.

2.2. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LA PLANTA PIL TARIJA S.A.

2.2.1. Materia Prima Leche de vaca cruda

“La leche es un líquido limpio y fresco, producto del ordeño higiénico, obtenido en la segregación de las glándulas mamarias de vacas sanas, sin ningún tipo de extracción de sus componentes; se entiende por leche cruda a aquella que no ha sido sometida a ningún tratamiento térmico” (NB 33013,2013) **ANEXO 3.**

Las principales características de la leche son: color, sabor aroma y consistencia, propios y únicos de este alimento.

Tabla II-2: Composición de la leche de diferentes especies (*)

Composición	Materna	Vaca	Oveja	Cabra	Búfala	Burra	Yegua	Camella
Calorías	76	68	104	75	80	45	47	66
Proteínas	1,1	3,4	5,5	3,8	3,00	1,6	2,1	3,4
Grasas	4,5	3,5	7,0	4,3	7,0	1,1	1,7	4,1
Hidratos de carbono	7,6	4,5	4,3	4,6	5,5	6,5	6,1	3,8
Agua	87	90	82,4	86,3	85	90,4	89,5	87,2
Cloro	39	109	122	132	125	-	26	107
Calcio	35	140	207	138	147	-	102	142
Fósforo	15	90	140	100	101	-	60	102
Potasio	50	140	185	160	165	-	81	110
Vitamina A	0,7	0,03	0,06	0,04	0,06	-	0,02	0,04
Vitamina C	5	1,0	3,0	2,0	5,0	-	10	5

Fuente: Cadena Productiva de Leche, La Paz- Bolivia. (2015)

*Calorías por cada 100 gramos, proteínas, grasas, hidratos de carbono y agua, en % .Sales y Vitaminas en Miligramos por cada 100 gramos.

La Tabla II-2 muestra las diferentes composiciones nutricionales de leche cruda en las diferentes especies mamíferas, estos datos son de importancia para el conocimiento previo de la leche cruda de vaca y la diferencia con las demás especies.

En la siguiente tabla II-3 se muestra la composición en porcentaje de la leche fresca de PIL Tarija S.A. En dicha tabla se indica valores los que pueden variar los porcentajes de los distintos componentes, que dependen de muchos factores como:

- ✓ Raza de vaca.
- ✓ Tipo de alimentación.
- ✓ Estado sanitario del animal.
- ✓ Época del año.

Tabla II-3: Composición Promedio

Composición	%	Porcentaje total de sólidos y Agua (%)
Materia Grasa	3,2	19,84
Solidos no Grasos	8,0	
Lactosa	5,1	
Sales	0,65	
Proteínas	2,89	
Agua	80,16	80,16

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018) “Equipo, LACTOSCAN”

2.2.1.1. Parámetros Físicoquímicos

Los controles de los parámetros físicoquímicos de la leche cruda durante el proceso de recepción, son indispensables para determinar la calidad de la leche (%MG, % Lactosa, % SNG, Acidez), con la que llega hasta instalaciones de la industria. Los rangos de los parámetros que debe tener la leche según la NB-33013, se detallan en la siguiente tabla II-4.

Tabla II-4: Requisitos Fisicoquímicos de la Leche Cruda de Vaca

Parámetros	Rango
Acidez Titulable (Ácido Láctico) en %	0.13 a 0.18
Densidad a 20 °C en gr/ml	1.028 a 1.034
Punto Crioscópico en °C	-0.520 a -0.570
pH	6.6 a 6.8
Materia grasa mínima en %	3
Sólidos no Grasos Mínimos en %	8.2

Fuente: NB 33013, (2013). ANEXO 3

2.2.1.2. Composición Química

En la siguiente tabla II-5 se observa la composición química de la leche de vaca; es importante conocerla debido a que la leche es sometida a diferentes cambios de temperaturas y podría degradar a algunos de ellos por ser sensibles a temperaturas elevadas, como ser las (Proteínas, Vitamina A, Grasas, Calcio).

Tabla II-5: Composición Química de la leche de Vaca (*)

Composición	%
Agua	87,4
Proteínas	3,4
Grasas	3,5
Hidratos de carbono	4,5
Cenizas	1,2
Sales minerales	%
Potasio	0,19
Calcio	0,175
Fósforo	0,168
Cloro	0,065
Sodio	0,061
Azufre	0,099
Magnesio	0,016
Hierro	0,0005
Vitaminas	Unidades
Vitamina A	400 U.L
Vitamina B1	25 microgramos

Fuente: NB 33013, (2013). ANEXO 3

*Agua, Proteínas, Grasas e Hidratos de carbono por cada 100 gramos: Sales minerales como Potasio, Calcio, Fósforo, Cloro, Sodio, Azufre, Magnesio, Hierro y Cenizas en miligramos por cada 100 gramos: vitaminas en microgramos por cada 100 gramos de muestra.

2.2.1.3. Parámetros Microbiológicos

El análisis microbiológico de la leche se realiza una vez cada dos meses y es efectuado por el SEDES, como se muestra la ficha técnica en el **ANEXO 3**. Para

proteger la salud del consumidor y prevenir alteraciones en el producto final. En la tabla II-6 se muestra los principales microorganismos presentes en la leche cruda de vaca.

Tabla II-6: Principales Tipos de Microorganismos

Tipos de Microorganismos
Cocos
Estreptococos
Espiriles
Bacilos
Estafilococos
Esperes Bacterianos
Bacteria Flagelada

Fuente: Fundamentos de Microbiología de la Leche, *Mariscal, P.C.A., Ibáñez R.A. y Gutiérrez M.F.D.* (2012)

Los análisis microbiológicos tiene las siguientes finalidades:

- Seguridad higiénica del producto o alimento.
- Ejecución de prácticas adecuadas de producción.
- Generar calidad comercial y mantenerla en los productos.
- Establecer la utilidad del alimento o producto para un propósito determinado.

En la tabla II-7 se establecen los parámetros que debe cumplir la leche cruda para que sea apta en la elaboración de los diferentes productos lácteos, y también conocer la cantidad y tipos de microorganismos presentes en la leche cruda.

Tabla II-7: Requisitos Microbiológicos

Parámetros	Rango
TRAM (Tiempo de reducción de azul de metileno)	>1 horas
Recuento total de bacterias mesófilas	$<4 \times 10^6$ UFC/ml
Recuento de células somáticas	$<1 \times 10^6$
Bacterias esporuladas	$<1 \times 10^2$ UFC/ml

Fuente: NB 33013. (2013). ANEXO 3

2.2.2. Controles organolépticos de la materia prima en la planta PIL Tarija S.A.

Dentro de los controles organolépticos de la leche para procesar el dulce de leche tenemos: color, olor, sabor.

2.2.2.1. Color: Tiene un color blanco, sin embargo por el contenido de materia grasa en algunos casos mínimos posee una pigmentación amarilla.

2.2.2.2. Olor: Tiene un olor característico de una leche fresca, esto por la presencia de compuestos orgánicos volátiles de bajo peso molecular como ser los ácidos, aldehídos, cetonas y trazas de sulfato de metilo.

2.2.2.3. Sabor: Se considera ligeramente dulce por el contenido de lactosa. Si la leche tiene un pequeño sabor salado es por la presencia de cloruros que se da en la leche al final del periodo de la lactancia o por estados infecciosos de la Ubre, Mastitis.

2.2.3. Controles fisicoquímicos de la materia prima en la planta PIL Tarija S.A.

Los controles que se realizan a la leche para procesar dulce de leche son los siguientes:

- Acidez
- % Materia Grasa
- % Solidos No Grasos
- Determinación de Mastitis

2.2.3.1. Acidez

2.2.3.1.1. Prueba de alcohol

Es una prueba de campo rápida que sirve para determinar la estabilidad de la leche al tratamiento térmico e indirectamente puede relacionarse con la acidez desarrollada de la leche (bacterias, ácido láctico). Esta prueba se realiza diariamente y a todos los proveedores. Es una prueba de recepción, es decir, de ella depende la aceptación o rechazo de la leche. El procedimiento de este análisis se muestra en el **ANEXO 4**.

2.2.3.2. Porcentaje de Materia Grasa

De acuerdo a los análisis realizados en el laboratorio de la PIL Tarija S.A., el porcentaje de materia grasa de la leche procesada es de un promedio de 3.20% certificado en el **ANEXO 7**. Este análisis se describe en el **ANEXO 5**.

2.2.3.3. Porcentaje de Solidos no Grasos

De acuerdo a los análisis realizados en el laboratorio de la PIL Tarija S.A., el porcentaje de los sólidos no grasos de la leche procesada es de un promedio de 8.4%. Los análisis de sólidos no grasos se los realiza con un lactómetro.

2.2.4. Determinación de Mastitis

Es una enfermedad infecciosa definida como una inflamación de la glándula mamaria. Esta enfermedad es muy compleja que se produce como resultante de la interacción entre agentes infecciosos (Bacterias como son: Streptococcus agalactiae, Sthaphylococcus aurens, Corynebacterium pyogenes, Pseudomona aeruginosa, Mycobacterium bovis, Brucella abortus, Actinobacillus lignieresii, Pasteurella multocida, Escherichia Coli, etc.)

Estas pruebas se realizan durante la preparación de la vaca para la ordeña. Consiste en la detección de grumos, tolondrones, descamaciones, sangre, etc. en la leche. Es recomendable realizar este procedimiento en todos los ordeños ya que además de detectar leche anormal, se eliminan bacterias que normalmente se encuentran en mayor cantidad en estos primeros chorros y además se estimula la bajada de la leche. (Bedolla et.al, 2007)

El reactivo de utilización a nivel comercial lleva el nombre de “Reactivo California”; el procedimiento se describe en el **ANEXO 6**.

2.2.5. Control de Calidad de la Recepción de leche en PIL Tarija S.A.

A continuación se observa en la tabla II-8 los datos de control de calidad de la recepción de leche en PIL Tarija S.A. para la elaboración de dulce de leche, certificada en el **ANEXO 7**.

Tabla II-8: Resultados de control de Calidad de la Estandarización de leche en PIL Tarija S.A.

Parámetros	Unidades	Técnica y/o Método de Ensayo	Límites Permisibles		Resultados en PIL Tarija	Referencia de los límites
			Min.	Max.		
Acidez titulable (Ácido láctico)	%	NB 229:98	0,13	0,18	0,13	NB 33013:13
Densidad a 20 ° C	g/ml	NB 220:1999	1,028	1,034	1,029	NB 33013:13
Grasa	%	NB 228:1998	3,0		3.20	NB 33013:13
Sólidos no grasos	%	NB 706:1998	8,2		8,66	NB 33013:13
Sólidos Totales	%	NB 231:1-1998	11,2		11,2	NB 33013:13
pH (20°C)	-	NB 38028:2006	6,6		6,6	NB 33013:13
Bacterias Mesófilas	UFC/ml	NB 32003:2005	<4x10 ⁶		2,5x10 ⁸	NB 33013:13

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018). ANEXO 7

Como se observa en la tabla anterior, los resultados del análisis en PIL Tarija de la leche cruda se encuentran en los límites permitidos de control de calidad de la leche, vigente por Normas Bolivianas.

2.3. CARACTERIZACIÓN DEL DULCE DE LECHE PRODUCIDO POR PIL TARIJA S.A.

2.3.1. Definición

El proceso de elaboración del dulce de leche o manjar blanco y el principio de su conservación se basan en la concentración de sólidos especialmente azúcares por evaporación del agua contenida en la leche, lo que impide el ataque de microorganismos. (Codex Alimentarios, 2011)

Se define por dulce de leche al producto obtenido por concentración y adición del calor y presión normal o reducida de la leche o leche reconstituida, con o sin adición de sólidos de origen lácteos y/o crema, y adicionado de sacarosa (parcialmente sustituida o no por monosacáridos y/u otros disacáridos), con o sin adición de sustancias alimenticias. (Código Alimentario Argentino, 2006).

También se lo define como un producto lácteo obtenido por calentamiento y concentrado con adición de azúcares (Norma Boliviana 445-81 dulce de leche, 1981),

ANEXO 8.

2.3.2. Sub Productos del dulce de leche

Según Freyre, (1977) los principales tipos de Dulce de Leche son los siguientes:

- ✓ Dulce de leche semidescremado.
- ✓ Dulce de leche tipo Argentino.
- ✓ Dulce tipo natillas.
- ✓ Dulce de leche en Polvo.
- ✓ Dulce de leche sólido.

2.3.3. Requisitos físicos y químicos del dulce de leche según la Norma Boliviana 445-81

En la tabla II-9 se observa los rangos que debe tener el dulce de leche en todos los parámetros mencionados, certificado en el ANEXO 9.

Tabla II-9: Requisitos Físicos y Químicos del dulce de leche según la Norma Boliviana 445-81

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Humedad	%(m/m)	****	30	N.B.-367-80
Materia grasa	%(m/m)	6	****	N.B.-228-78
Azúcares totales, expresados como azúcares invertidos	%(m/m)	****	56	En preparación
Azúcares no reductores, expresados como azúcares invertidos	%(m/m)	31.5	****	En preparación
Proteínas	%(m/m)	6	****	N.B.-232-78
Cenizas	%(m/m)	****	2	N.B.-231-78

Fuente: Norma Boliviana -445-81. (1981). ANEXO 9

2.3.4. Análisis físico y químico del dulce de leche en la planta PIL Tarija S.A.

En la tabla II-10 se observa el análisis fisicoquímico del dulce de leche actual, que producen en PIL Tarija, que se detalla a continuación.

Tabla II-10: Análisis Fisicoquímico del dulce de leche en la planta PIL Tarija S.A.

Parámetro	Resultado	Unidad	Método	Límite NB 445-81
Valor Energético	304	Kcal/100g	NB 312032-2006	Sin límite de referencia
Humedad	25,30	g/100g	NB 367-1980	Max 30
Proteína	6,16	g/100g	ISO 8968-1-2001	Min 6
Grasa	6,4	g/100g	NB 228-1998	Min 6
Carbohidratos	66,75	g/100g	NB 312031-2010	Sin límite de referencia
Cenizas	1,15	g/100g	NB 231:-1998	Max 2
Azúcares Totales	26,78	g/100g	NB58010-2004	Max 56

Fuente: PIL Tarija, Laboratorio INLASA. (2018). ANEXO 10

Como se muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos de PIL Tarija del dulce de leche, están en el rango según a la norma boliviana 445-81 de dulce de leche, certificado en el **ANEXO 10**.

2.3.5. Requisitos Microbiológicos del dulce de leche según la Norma Boliviana 445-81

Las características microbiológicas que debe cumplir bajo la norma boliviana, de elaboración de dulce de leche, se reflejan en la tabla II-11, certificada en el **ANEXO 9**.

Tabla II-11: Características Microbiológicas del dulce de leche según la Norma Boliviana 445-81

Microorganismo	Colonias/g
Gérmenes aerobios (máximo)	1000
Hongos y Levaduras (máximo)	10
Coliformes totales (máximo)	1
Escherichia Coli	Negativo

Fuente: Norma Boliviana-445-81. (1981). ANEXO 9

2.3.6. Análisis Microbiológico del dulce de leche en la planta PIL Tarija S.A.

En la tabla II-12, se observa el análisis Microbiológico del dulce de leche actual, que produce PIL Tarija el cual se detalla a continuación, corroborado en el **ANEXO 11**.

Tabla II-12: Análisis Microbiológico del dulce de leche en PIL Tarija S.A.

Método	Parámetro	Valor encontrado	Valor permitido	Norma de referencia
NB-32005	Coliformes totales	$<1.0 \times 10^1$ UFC/g	1.0×10^1 UFC/g	Norma Boliviana 445/81
NB-32005	Escherichia Coli	$<1.0 \times 10^1$ UFC/g	0UFC/g	Norma Boliviana 445/81
NB-32006	Mohos	$<1.0 \times 10^1$ UFC/g	1.0×10^1 UFC/g	Norma Boliviana 445/81
NB-32006	Levaduras	$<1.0 \times 10^1$ UFC/g	1.0×10^1 UFC/g	Norma Boliviana 445/81

Fuente: PIL Tarija, Laboratorio INLASA. (2018). ANEXO 11

Como se muestran en los resultados de análisis microbiológico del dulce de leche en PIL Tarija, está en los rangos, de acuerdo a la Norma Boliviana 445-81.

Nota: La expresión en la tabla II-12; $<1.0 \times 10^1$ UFC/g, $<1.0 \times 10^2$ UFC/g, significa que no existe desarrollo de colonias de acuerdo a la sensibilidad de la técnica utilizada.

2.3.7. Valor Nutricional del dulce de leche en la PIL Tarija S.A.

En la siguiente tabla II-13, se muestra los componentes nutricionales más importantes a considerar en el dulce de leche en PIL Tarija, en base a una porción de 100 gramos; esto se corrobora en el **ANEXO 12**.

Tabla II-13: Análisis Nutricional del dulce de leche en PIL Tarija S.A.

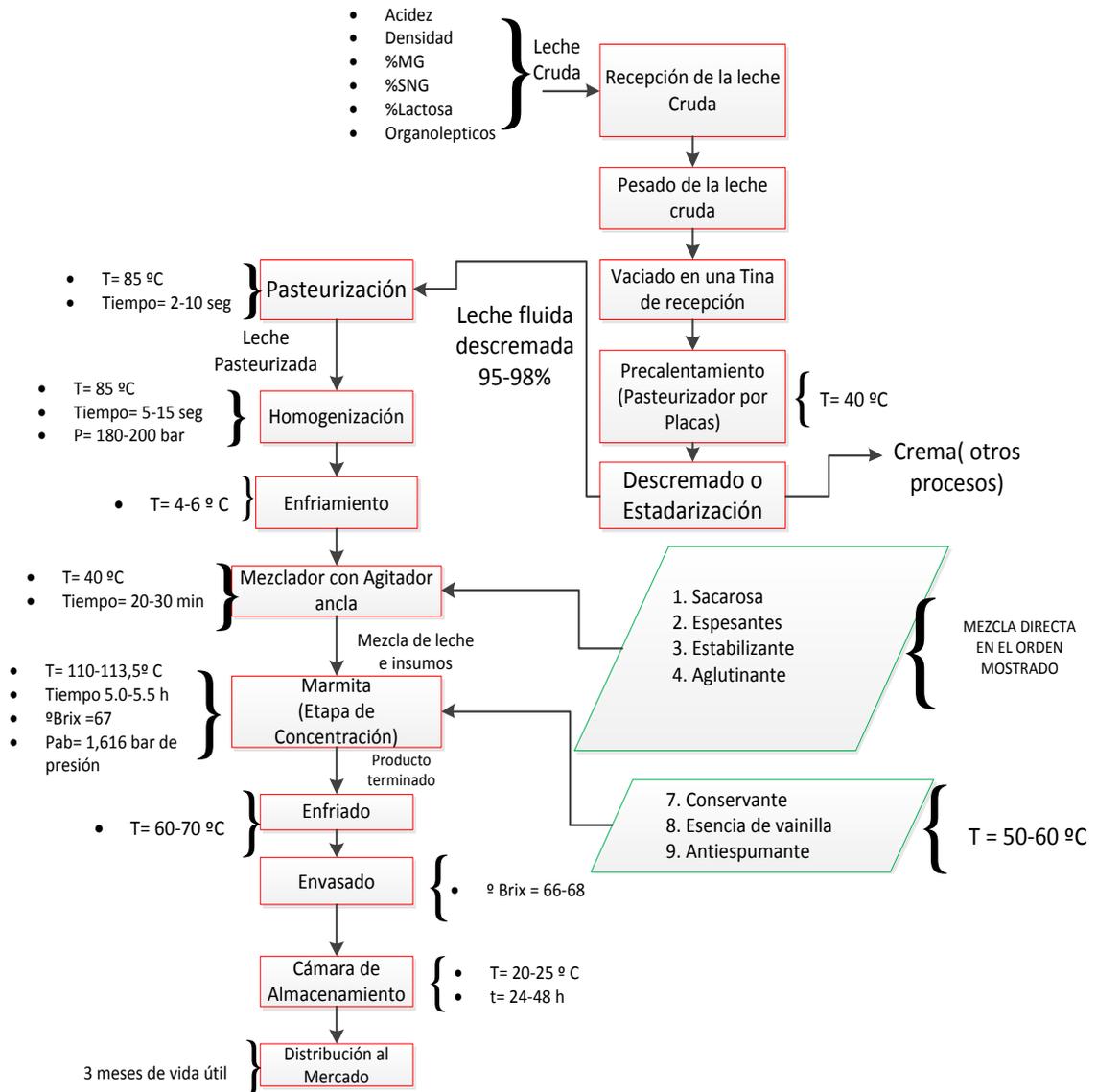
Parámetro	Resultado	Unidad	Método
Calcio	194,75	mg/100g	AOAC 944.03 (modificado)
Fósforo	176,44	mg/100g	AOAC 995.11
Hierro	2,30	mg/100g	AOAC 944.02 (modificado)
Hidratos de carbono	64,13	%(m/m)	AOAC 944.03 (modificado)
Azúcares NO reductores	7,40	%(m/m)	AOAC 944.03 (modificado)
Valor energético	313,00	Kcal/100g	AOAC 944.03 (modificado)
Vitamina A	7,73	µg/100g	AOAC 944.03 (modificado)

Fuente: PIL Tarija, Laboratorio INLASA (2018). ANEXO 12

2.4. PRODUCCIÓN DE DULCE DE LECHE ACTUAL EN LA PLANTA PIL TARIJA S.A.

La elaboración, operación y control del proceso de producción de Dulce de Leche en la planta PIL Tarija S.A. se muestra a continuación en la figura 2-5, mediante un diagrama en bloque de dicho proceso.

Figura 2-5: Diagrama de Bloque de la Elaboración del Dulce de Leche en la Planta PIL Tarija S.A.



Fuente: Elaboración Propia. (2018)

2.4.1. Cantidades de los insumos y materia prima en porcentaje masa/masa

Las cantidades de adición de insumos y materia prima se refleja en la Tabla II-14, pero a continuación se hace respectivamente el cálculo de los kilogramos de leche fresca.

➤ $\rho = 1,029 \text{ gr/ml} = 1029 \text{ kg/L}$, de leche fresca óptima en PIL Tarija S.A.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Ec.2-1})$$

Con esta (Ec.2-1) despejamos la m, para obtener la masa de la leche fresca utilizada en la elaboración de dulce de leche en PIL Tarija

$$\begin{aligned} m &= \rho * V \\ m &= 1029 \text{ kg/L} * 400\text{L} \\ m &= 412 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tabla II-14: Cantidades en %(m/m), por kilogramo de leche fresca

Ingrediente	Cantidad	Unidad
Leche fresca	412	Kg
Azúcar	44,7	% (m/m)
Espesantes	3,9	% (m/m)
Conservantes	0,17	% (m/m)
Estabilizante	0,15	% (m/m)
Aglutinante	2,9	% (m/m)

Fuente: PIL Tarija. (2018)

- Datos

- %Sólidos de leche Fresca en PIL Tarija = 19,84 ; $X_S = 0,1984$: Tabla II-3
- % Agua de leche Fresca en PIL Tarija = 80,16 ; $X_A = 0,8016$: Tabla II-3

- Materia Prima

La leche que se emplea para la elaboración de dulce de leche por cada proceso es de 400 litros, llega con un promedio en parámetros físico químico reflejado en la siguiente tabla II-15:

Tabla II-15: Parámetros Físicoquímicos de la leche cruda con los que se trabajó en PIL Tarija para el proceso de Dulce de leche

ANALISIS	VALOR PROMEDIO	UNIDAD
Temperatura	15	° C
Acidez	13	° D
Lactosa	5,1	%
MG	3,2	%
SNG	8,0	%
Proteínas	2,89	%
Sales	0,65	%
Densidad	1,029	gr/ml
Agua	3,84	%
pH	7	-

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018), (Equipo LACTOSCAN)

Este análisis físicoquímico está certificado en el **ANEXO 13** el cual se realiza a cada proceso de elaboración de dulce de leche.

2.4.2. Descripción de cada una de las etapas del proceso actual de elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

- Observación de sólidos o cuerpos en suspensión en la leche cruda (Control Organoléptico, sabor, olor y color.)
- Antes de comenzar el proceso, se analiza la leche cruda para ver su calidad mediante un análisis físicoquímico como se detalla en la tabla II-13, esto para sus controles permitidos según Norma Boliviana 33013.

- Posteriormente pasa a una balanza para su pesado, y luego es vaciado a una tina de recepción donde es bombeada al pasteurizador por placas.
- En el pasteurizador por placas se precalienta la leche hasta los 40 ° C; este precalentamiento es el primer proceso en el equipo.
- Después de precalentarla pasa por un proceso de bombeo a la centrífuga a la misma temperatura 40 ° C, donde se separa la crema de la leche.
- Luego de este periodo, la leche sin crema regresa al pasteurizador por placas, donde pasa a una temperatura de 85 ° C, durante un periodo de (2-10) segundos.
- Después de su pasteurización, la leche, a la misma temperatura de 85 ° C, pasa por otro proceso de bombeo al homogeneizador donde se homogeniza durante un periodo de (5-15) segundos.
- Por último la leche ya pasteurizada y homogenizada vuelve al pasteurizador por placas, donde pasa por un proceso de enfriamiento a (4-6) ° C, durante un periodo de (2-6) segundos, y es distribuida para los diferentes procesos lácteos.
- Siguiendo, la leche Pasteurizada pasa a un tanque con agitador tipo ancla, donde se precalienta la leche a temperatura de 40 ° C, con una agitación constante
- A esta temperatura se mezclan los ingredientes sólidos (Azúcar, espesantes, aglutinantes, estabilizante).
- Se deja en agitación constante durante (20-30) minutos a la misma temperatura, y posteriormente se la pasa por un proceso de bombeo a la marmita.
- En este punto se hace el ingreso de vapor lentamente, el cual le da calor a la marmita doble camisa, con una agitación constante (para tener una mezcla homogénea), se empieza el proceso a presión atmosférica (1016 hPa=1,016 bares, Ciudad de Tarija), en la marmita la presión relativa de vapor llega a 0,60 bares de presión, con la que a continuación calculamos la presión absoluta.

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{Relativa}} * P_{\text{Atmosférica}} \quad (\text{Ec.2-2})$$

$$P_{\text{absoluta}} = 0,60 \text{ Bar} * 1,016 \text{ Bar}$$

$$P_{\text{absoluta}} = 1,616 \text{ Bar}$$

- Con este valor de presión absoluta calculado, se va a la tabla de presiones de vapor de agua correspondiente al **ANEXO 14**, donde se obtiene la temperatura de concentrado del producto terminado que es equivalente a (113,5) ° C.
- En el proceso de concentrado en la marmita, se le adiciona un conservante en polvo y la esencia de vainilla líquida a temperaturas de (50-60) ° C, esto para que se pueda mezclar rápidamente con los demás insumos, y no se volatilice la esencia.
- El periodo de concentrado final (verificado con un cronometro) en la marmita está entre (5,0-5,5 horas), con un ingreso de (0,55-0,60) bares de presión relativa de vapor, hasta obtener un producto con (66-68) ° Brix. Si existe espuma en la mezcla se echa antiespumante.
- Se procede a enfriar el producto, hasta que alcance una temperatura de (60-70) ° C, para su envasado, haciendo el ingreso de agua a la marmita doble camisa.
- Se realiza el envasado en forma manual, y de inmediato el sellado con lámina de aluminio termosellable, y posteriormente el volcado de cada envase de dulce de leche como se muestra en la figura 2-6; de esta forma generamos vacío dentro del envase.
- Pasado un tiempo de (10-12) horas de enfriamiento del producto a temperatura ambiente, se tapan con una sobre tapa plástica, donde va establecida su fecha de vencimiento, para luego embalar en cajas de cartón para llevarlas a cámara de almacenamiento, donde permanece a una temperatura de (20-25 ° C), y se las guarda hasta su comercialización, durante un periodo de 24- 48 horas. En la siguiente tabla II-16, se detalla los tiempos de concentrado y la cantidad de producto obtenido.

Tabla II-16: Tiempos de obtención de concentrado y producto final de dulce de leche en la planta PIL Tarija S.A.

Capacidad de la marmita (L)	Cantidad de leche fresca utilizada (L)	Tiempo de concentrado (h)	Tiempo total de terminado de elaboración (h)	Producto total obtenido (kg)
1000	400	5,0-5,5	8-9	425

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

Figura 2-6: Volcado del dulce de leche 24 horas en la planta PIL Tarija S.A.



Fuente: Propia. (2018)

2.5. INSUMOS Y MATERIALES

Los insumos y materiales se encuentran en el almacén central de la empresa; para poder sacar insumos del almacén, la oficina de producción realiza el pedido para el proceso. A continuación se muestra en la tabla II-17 una lista de insumos y materiales necesarios para un proceso de dulce de leche.

Tabla II-17: Insumos y Materiales empleados para el Dulce de Leche en PIL Tarija S.A.

Insumos	Unidades	Materiales
$C_{12}H_{22}O_{11}$	kg	Vasos plásticos de ½ kg
$NaHCO_3$	gr	Vasos plásticos de ¼ kg
Esencia de Vainilla	cm ³	Tapas plásticas
Glucosa en polvo	kg	Lamina de aluminio
Leche en polvo Descremada	kg	Cinta de embalaje
$C_6H_7KO_2$	gr	Cajas de cartón
Maicena	kg	
Espesante CMC (CarboxiMetilCelulosa)	gr	

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

Nota: No se especifican las cantidades de los insumos en la tabla II-17, por motivos de seguridad que establece la Planta PIL Tarija S.A.

2.5.1. Glucosa

Denominada también dextrosa ($C_6H_{12}O_6$) y azúcar de uva (por hallarse en esta en concentración elevada), es el azúcar más amplio distribuido en la naturaleza.

(Braverman. H, 1967) dice:

La glucosa en industrias alimentarias es utilizada para aumentar la solubilidad de la sacarosa y también para regular el grado relativo de dulzor; determina asimismo una cristalización más lenta, y en iguales concentraciones es menos viscosa.

(Freyer. H, 1972) nos habla:

La glucosa es muy activa en la reacción de Maillard, que consiste en la combinación de los azúcares que contiene un grupo carbonilo libre con los aminoácidos por lo que su presencia posibilita el llamado empardecimiento no enzimático de los alimentos, fenómeno de importancia en la fabricación del dulce de leche.

En la planta PIL Tarija su utilización obedece a varias razones: es económico, agrega brillo al producto.

2.5.2. Almidones

El almidón $(C_6H_{10}O_5)_n$ cumple la función de aumentar el rendimiento final, debido a su capacidad higroscópica a altas temperaturas.

El almidón de maíz contiene únicamente un 25% de amilasa $(C_6H_{10}O_5)_n$, siendo el resto amilopectina; en la actualidad se han obtenido nuevas variedades de maíz, que contienen en su almidón hasta un 65 % de amilopectina.

Las enormes diferencias de los distintos tipos de almidón dependen de:

- a) La proporción relativa de las dos fracciones de amilasa $(C_6H_{10}O_5)_n$ y amilopectina $(C_6H_{10}O_5)_n$.
- b) El almidón se produce industrialmente a partir de tubérculos como las papas, de cereales como el trigo, maíz, arroz, etc.

2.5.3. Bicarbonato de Sodio

Durante el proceso de elaboración el agua de la leche se va evaporando y el ácido láctico (componente propio de la leche) se va concentrando. Así, la acidez de la leche se va incrementando de una manera tal que se podría producir una sinéresis (la leche se corta). El uso de leche con acidez elevada produciría un dulce de leche de textura arenosa, áspera.

Asimismo una acidez excesiva impide que el producto terminado adquiera su color característico, ya que las reacciones de coloración son retardadas por la elevada acidez. Estas reacciones se ven a continuación en la sección (2.5.4.1).

El (NaHCO_3), tiene la función de:

- Neutraliza el ácido láctico (o corrección de la acidez), presente en la leche para que no se corte al concentrarla.
- Se agrega durante la fabricación del dulce de leche para evitar a coagulación de la caseína, y para favorecer la reacción de Maillard, responsable del color marrón típico.

En pocas palabras el uso del (NaHCO_3), en la preparación del dulce de leche, sirve para evitar que la leche se corte en el momento que se concentra influye en el color dado por la reacción de Maillard.

2.5.3.1. Reacción de Maillard “Oscurecimiento no Enzimático”

El oscurecimiento no enzimático es el resultado de reacciones originadas por las condensaciones entre compuestos carbonilos y derivados de aminas; o por la degradación de compuestos con enlaces dobles conjugados a grupos carbonilo. Este proceso implica la presencia de carbohidratos en el alimento ya sea sacarosa, glucosa libre o algún otro.

Esta serie de reacciones conduce a la formación de polímeros oscuros que en algunos casos pueden ser deseables (aromas cárnicos, sintéticos o color caramelo). Pero que en la mayoría de casos conllevan a alteraciones organolépticas y pérdidas del valor nutritivo de los alimentos afectados.

Hay tres tipos de oscurecimientos en los alimentos:

- a) La reacción de Maillard. Un compuesto carbonilo (azúcar reductor) y una amina (aminoácido, péptido o proteína)
- b) La caramelización (azúcares)
- c) La oxidación del ácido ascórbico

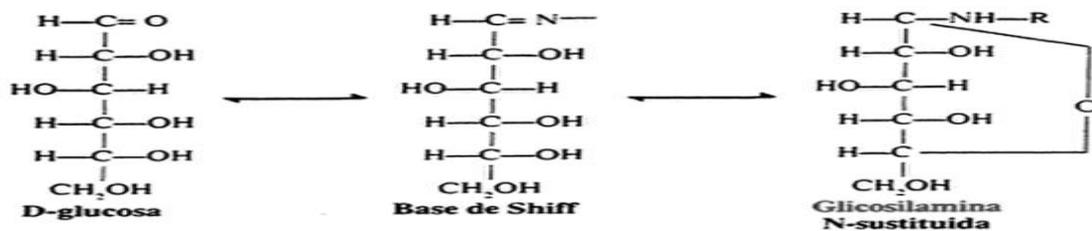
Los tres son de naturaleza no enzimática, particularmente en frutas y vegetales. Por consiguiente, se realiza el estudio al inciso (a), ya que esta primer tipo de oscurecimiento de alimentos se lleva a cabo entre azúcares.

a) La reacción de Maillard. Un compuesto carbonilo (azúcar reductor) y una amina (aminoácido, péptido o proteína)

- Conjunto complejo de reacciones químicas.
- Aparición de pigmentos (Melanoidinas) en los alimentos.
- Formación de productos responsables del sabor y del olor (compuestos volátiles) en los alimentos.
- Se lleva a cabo entre azúcares (glucosa, fructuosa, maltosa, lactosa)
- Aminas principalmente primarias (por ejemplo un grupo α - amino de los aminoácidos lisina, el grupo guanidino de la arginina)
- Depende del pH, temperatura, tiempo, concentración.

Los productos finales del oscurecimiento no enzimático son llamados melanoidinas, mientras que los productos del oscurecimiento enzimático son llamados melaninas. Teóricamente la distinción es clara, pero en la práctica es muy difícil clasificar los compuestos, que dan el color café oscuro, formados en los alimentos, ya que se forman mezclas químicamente complejas.

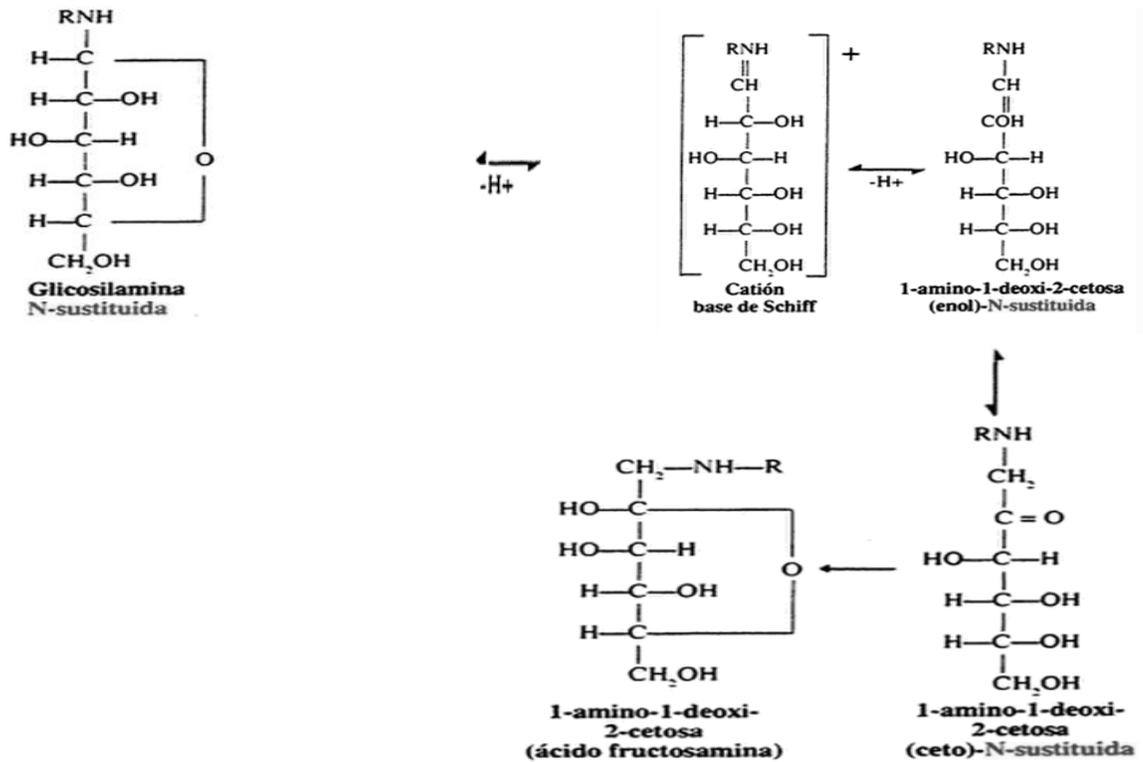
Figura 2-7: Primer Mecanismo de la reacción “Condensación de Maillard”



Fuente: B. José, Ciencia bromatológicos: *principios generales de los alimentos*. (2000)

En las aldosas la base de Schiff se isomeriza en aldosilamina N-sustituida

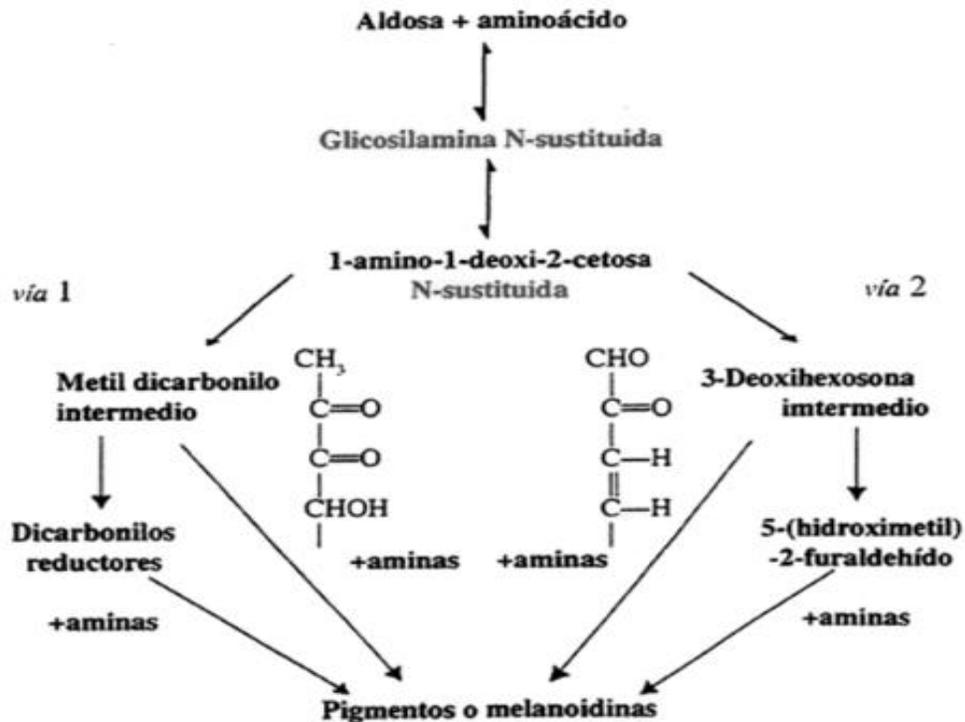
Figura 2-8: Segundo Mecanismo de la reacción “Condensación de Maillard”



Fuente: B. Jos3, Ciencia bromatol3gicos: *principios generales de los alimentos*. (2000)

La condensaci3n de Maillard puede producirse con todos los az3cares reductores: aldosas, cetosas, 3cidos ur3nicos, disac3ridos reductores, etc.

Figura 2-9: Resumen Literal de las dos vías de la reacción de Maillard



Fuente: B. José, Ciencia bromatológica: *principios generales de los alimentos*. (2000)

b) La Caramelización

La caramelización es un tipo de oscurecimiento que generalmente no está asociado a los productos conservados por bajas temperaturas, ya que se produce por efecto del calor cuando los azúcares son calentados por encima de su punto de fusión.

Este proceso puede ocurrir bajo condiciones ácidas o básicas y está asociado con cambios en el sabor y aroma de los alimentos. Se ha postulado en condiciones ácidas la formación de 1,2 enol a partir del azúcar (aldosa y cetosa) que lo origina, para luego, mediante la deshidratación, de arreglo y ciclización, formar finalmente 5-

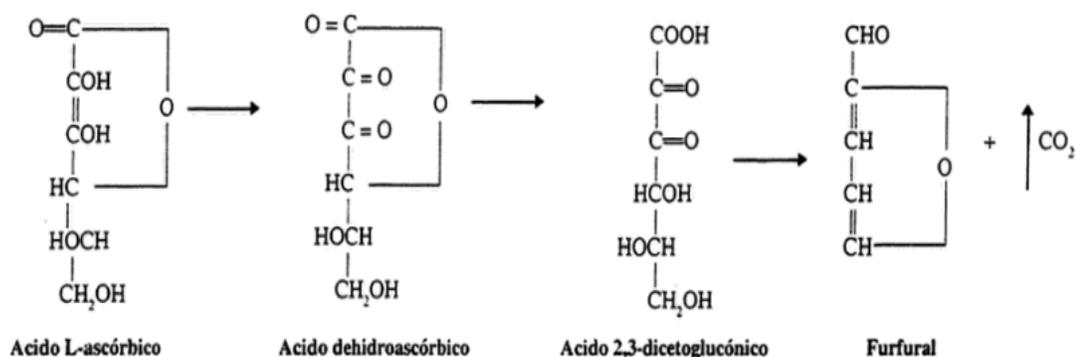
(hidroximetil) 2 furaldehido, en el caso de que el azúcar original hubiere sido una hexosa o de 2-Furaldehido, en el caso de un pentosa. Posteriormente se forma furfural, mediante las reacciones de polimerización y condensación.

c) Oxidación del Ácido Ascórbico

La oxidación del ácido ascórbico juega un papel muy importante en el oscurecimiento de algunos productos conservados por bajas temperaturas, en especial en jugos, pulpas y concentrados de fruta. La reacción implica la descomposición del ácido ascórbico, con la reacción furfural y el desprendimiento de CO. El ácido L-ascórbico se convierte en ácido deshidroascórbico, ácido dicetoglucónico y finalmente furfural y dióxido de carbono. Se ha encontrado que, en los jugos frutas y los concentrados, la reacción es favorecida por el pH bajos, por ejemplo entre 2.0 y 3.5.

A continuación se presenta el esquema de la reacción:

Figura 2-10: Reacción de la Oxidación del Ácido Ascórbico



Fuente: B. José, Ciencia bromatológica: *principios generales de los alimentos*. (2000)

La reacción de oxidación de ácido ascórbico puede prevenirse empleando compuestos de azufre. Los sulfitos inhiben la conversión de la glucosa en 5-hidroximetil furfural y la del ácido ascórbico en furfural a través de la formación de un complejo en los grupos reductores. De esta manera se previene la formación furfural y el ulterior desarrollo de compuestos coloreados. La exclusión del oxígeno de los

envases o el envasado en atmósferas inertes se ha demostrado que pueden ser útiles en la prevención de la reacción de oscurecimiento.

Con esta explicación, la posición fundamental respecto al trabajo realizado no sufre ninguna alteración en cuanto a la reacción del pardeamiento no enzimático en la elaboración del dulce de leche en PIL Tarija S.A.

2.5.4. Leche en Polvo Descremada

El dulce de leche de PIL-Tarija contiene leche en polvo descremada como uno de los insumos para aumentar los sólidos solubles del dulce de leche y aumentar el rendimiento del producto terminado: es utilizado en combinación con la leche entera fluida.

2.5.4.1. Ventajas de usar leche en polvo en la fabricación de dulce de leche

- Se puede modificar y estandarizar la cantidad de sólidos solubles en la leche.
- El dulce de leche no se deposita sobre las paredes de la paila.
- Se llega más rápido al color deseado.

2.5.5. Sorbato de Potasio

El motivo principal del deterioro de los alimentos es el ataque de microorganismos, las causas a este ataque son las, (bacterias, levaduras y mohos). Este deterioro de los alimentos produce grandes pérdidas económicas, tanto para los fabricantes (deterioro de productos elaborados antes de su comercialización), como para distribuidores y consumidores. Se calcula que más del 20 % de todos los alimentos producidos en el mundo se pierden por acción de los microorganismos. El uso de los conservantes es una práctica muy antigua; sin embargo, los alimentos conservados con ellos no son imperecederos, tan solo se mantienen inalterados por un periodo de tiempo limitado, debido a que a las concentraciones autorizadas el crecimiento de los microorganismos se ve retardado pero no inhibido totalmente; el grado de inhibición final va a depender del tipo de sustancia y de su concentración. Algunos conservantes autorizados son:

- ✓ **E-200**-Ácido sórbico $C_6H_8O_2$
- ✓ **E-201**-Sorbato sódico $C_6H_7NaO_2$
- ✓ **E-202**-Sorbato potásico $C_6H_7KO_2$
- ✓ **E-203**-Sorbato cálcico $C_{12}H_{14}CaO_4$

En PIL Tarija el conservante utilizado en el proceso de dulce de leche es el sorbato potásico ($C_6H_7KO_2$).

2.5.6. Espesante CMC

El CMC (Carboximetilcelulosa) es un polvo fino de color blanco amarillento, no tiene olor y se usa en pequeñas cantidades, se utiliza para darle más consistencia al dulce de leche; para poder disolver más fácilmente, se mezcla con el azúcar y posteriormente se adiciona a la leche.

Entre otros espesantes con las mismas características tenemos: Carboximetilcelulosa sódica, Metilcelulosa, Metiletilcelulosa, Hidroxipropilcelulosa.

2.5.7. Esencia de Vainilla

Es utilizada para darle aroma alimentario súper concentrado con sabor al Dulce de Leche; la esencia líquida de vainilla se la adiciona en la etapa de enfriamiento porque a elevadas temperaturas podría volatilizarse.

2.6. PROBLEMA ACTUAL DEL DULCE DE LECHE EN LA PLANTA PIL TARIJA S.A.

El problema de cristales de azúcares en el dulce de leche actual en PIL Tarija, se minimiza en la parte superior como se ve en la figura 2-11, que se genera antes que cumpla su vida de Anaquel de 3 meses.

Ahora bien al formarse cristales de azúcares antes de cumplir su tiempo de vida útil, implica no cumplir con la fecha de vencimiento establecida por la planta en cada envase sacado al mercado, y por ende los dulces de leche son desechados.

Figura 2-11: Dulce de leche con cristales de azúcares formados, en la planta PIL Tarija S.A.



Fuente: Propia (2018)

2.7. SERVICIOS AUXILIARES

La marmita a vapor necesita de una caldera como fuente de vapor. El producto a calentar o mezclar se debe remover con un agitador incorporado para que el producto no se pegue o se queme.

La planta PIL Tarija cuenta como servicios propios en: abastecimiento de agua, ablandamiento de agua, vapor de agua, aire comprimido y generación de energía eléctrica, la cual se detalla en el **ANEXO 15**.

2.8. ELIMINACIÓN DE EFLUENTES

En PIL Tarija S.A. se generan los siguientes efluentes:

2.8.1. Efluentes Líquidos

Estos son producidos en abundancia por parte de PIL Tarija S.A; estos vertidos residuales provienen principalmente de:

- Lavado de recipientes y cañerías donde pasan materia prima, materia en proceso y producto.

- Lavado de equipos
- Lavado del trompo en la sala de mantequilla
- Refrigeración
- Condensado de los evaporadores, pasteurizador.
- Vertido de la materia prima, materia en proceso y productos en mal estado.

Todos estos desechos son conducidos a un bio reactor que se encuentra en instalaciones de la empresa, donde se hace un tratamiento previo para luego ser eliminados al sistema de alcantarillado de la Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (COSAALT), quien cada mes realiza un control de las aguas que son desechadas por parte de la planta PIL Tarija S.A.

2.8.2. Efluentes Gaseosos

Este tipo de efluentes no son generados por parte de PIL Tarija S.A, debido a que la planta cuenta con una caldera automática dual gas natural – diesel, y dos a gas natural.

De este modo la caldera más usada es la automática donde los gases de combustión son eliminados mediante una chimenea.

2.9. CUESTIONES DE HIGIENE Y SEGURIDAD

El operador de la sala de dulce de leche cuenta con los equipos necesarios de higiene como ser bota sanitaria, ropa blanca de trabajo, redecilla o cofia para el cabello, guantes, barbijo y mandil; por otra parte, en seguridad cuenta con los lentes, protectores auditivos, guantes corrugados para ácidos fuertes, mascarilla para evitar inhalar gases, Certificado en el **ANEXO 16**.

Si se toma en cuenta la paila utilizada por las condiciones en que se encuentra la misma no es un peligro para el operador ya que se cuenta con válvulas de seguridad, manómetro, termómetro. Este equipo no es manipulable por su tamaño de gran magnitud.

CAPÍTULO III
CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL
PROBLEMA

3.1. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA DE CRISTALIZACIÓN DE AZÚCARES EN EL DULCE DE LECHE

3.1.1. Consideraciones generales (fundamentos) acerca de la cristalización de los azúcares

La siguiente tabla III-1, refleja el porcentaje de lactosa que contiene la leche cruda de vaca.

Tabla III-1: Porcentaje de los componentes de la leche cruda de vaca

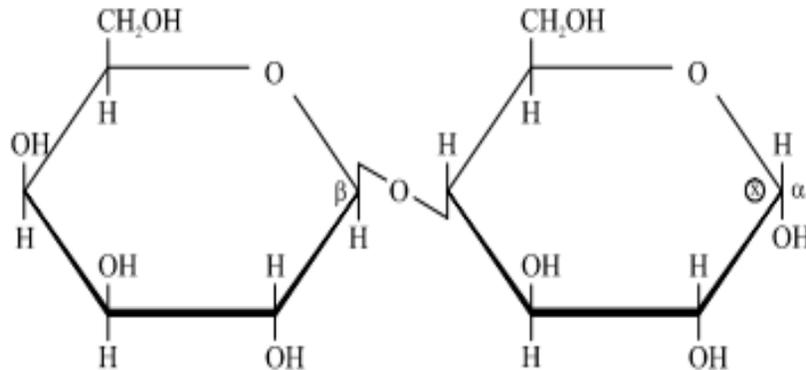
Componentes	Rango	Promedio
Agua	79-89	87
Lactosa	3,5-6	4,9
Grasa	2,2-8	3,6
Proteínas	2,7-4,8	3,5
Sales minerales	0,8-0,9	0,8
Cenizas	0,6-0,10	0,8

Fuente: Roca. E. (2009)

La lactosa es el principal carbohidrato de la leche, es un disacárido único en la leche de las hembras de muchos mamíferos (Walstra y colaboradores 1999).

La lactosa, 4-O-(β -D-galactopiranosil-D-glucopiranososa), es una hexobiosa de fórmula condensada $C_{12}H_{22}O_{11}$, con un peso molecular de 342 g/g-mol. Existe como dos formas isómeras: α y β , que se diferencian únicamente en la posición de un grupo -OH en el carbono C1 de la glucosa (isomería ciclánica) (Figura 3-1). Además, se conoce la forma hidratada $\alpha C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$.

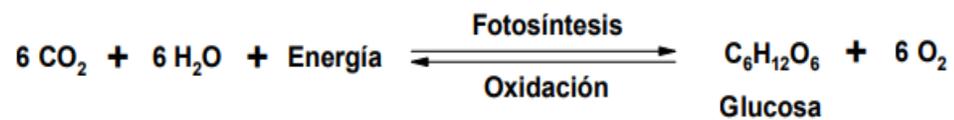
Figura 3-1: Estructura Molecular de Lactosa



Fuente: Roca. E. (2009)

La glucosa es el carbohidrato más abundante en la naturaleza. También se la conoce como azúcar sanguínea, azúcar de uva, o dextrosa. Los animales obtienen glucosa al comer plantas o al comer alimentos que la contienen. Las plantas obtienen glucosa por un proceso llamado fotosíntesis, la reacción se observa en la figura 3-2.

Figura 3-2: Origen de la Glucosa



Fuente: Roca. E. (2009)

3.1.1.1. La hidrólisis de la lactosa

La hidrólisis de la lactosa en glucosa y galactosa es interesante desde tres puntos de vista.

En primer lugar, un porcentaje significativo de la población mundial (75% de la población negra, 90% de los orientales e indígenas americanos, menos del 20% de la población caucásica originaria del noroeste de Europa y gran parte de la población infectada con el virus del SIDA) es intolerante a la lactosa, por lo que no puede beber leche sin sufrir diarreas y problemas gastrointestinales (Barnes, 1994; Walker y Smith, 1988; Lloyd-Still, 1979; Greene y Ghishan, 1982). Esta intolerancia tiene consecuencias muy importantes para la salud, puesto que puede conducir a la mal nutrición en aquellas personas afectadas que deben suspender la ingesta de leche y en consecuencia la ingesta de importantes nutrientes.

En segundo lugar, la lactosa es un azúcar relativamente insoluble (aproximadamente 10 veces menos soluble que la sacarosa) y origina muchos problemas al cristalizar durante el almacenamiento, particularmente si está concentrado, por lo que no se utiliza como edulcorante (Hobman, 1984). Con la lactosa no se pueden obtener jarabes espesos ni confituras estables a la temperatura ordinaria. Las soluciones concentradas de lactosa quedan en estado de sobresaturación durante la refrigeración. A 25 °C, la solubilidad límite de la lactosa es de 22 g por 100 ml de agua.

En tercer lugar, la producción de quesos deja como subproducto al suero, que contiene concentraciones relativamente altas de lactosa. De esta forma, anualmente se generan grandes cantidades de suero, lo que implica graves problemas para sus 3 etapas introducción, eliminación como así también la pérdida de hidratos de carbono. En nuestro país se desechan anualmente más de 2.000.000 de litros de suero que poseen una demanda biológica de oxígeno (DBO) de aproximadamente 35.000 mg O₂/L de suero (Hobman, 1984). La problemática es tal que verter un litro de suero supone la muerte por asfixia de todos los peces contenidos en 10 toneladas de agua. Debido a la legislación vigente que prohíbe el volcado de efluentes de alta carga orgánica sin tratamiento previo a los cursos de agua, inicialmente parte del suero se suministraba a los animales en granjas en reemplazo del agua y parte se arrojaba sobre el campo pero se ocasionaron problemas tales como trastornos digestivos, dada la falta de hábito de los animales para consumir un producto con elevado contenido

de lactosa o problemas tales como contaminación ambiental, ya que con la formación de charcos se produce mal olor y presencia de insectos, o se puede elevar la acidez del suelo. Surge así la necesidad de implementar metodologías de tratamiento del suero como efluente o deshidratarlo para usos posteriores, pero los costos de instalación y los demandados para eliminar grandes volúmenes de agua hacen también difícil esta operación. Sumado a ello, los grandes volúmenes de suero producidos superan la capacidad ociosa de las plantas de secado, y por lo tanto el suero actualmente es directamente eliminado como efluente. La lactosa se puede hidrolizar mediante ácidos fuertes, resinas de intercambio iónico o por enzimas, siendo este último método el que asegura un proceso de hidrólisis sin afectar los otros componentes presentes en la leche. La enzima utilizada para dicha hidrólisis se denomina β -Galactosidasa o más comúnmente lactasa (Wingard y otros, 1980; Yang y Tang, 1988).

La cristalización de lactosa no siempre es deseable. En productos como la leche condensada, helados y el dulce de leche este fenómeno químico causa el deterioro de las características sensoriales del producto terminado, le da al producto una textura arenosa que es rechazada por el consumidor (Agro información, 2004).

En un estudio realizado por Martínez y colaboradores (1990):

La práctica comercial común para evitar la cristalización de lactosa es utilizar “ **β -Galactosidasa**” para reducir el contenido de lactosa de la leche previa a la elaboración de dulce de leche.

3.1.1.2. Sacarosa

Es el producto sólido cristalizado de jugo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), al estado puro del azúcar es un hidrato de carbono denominado sacarosa, cuya fórmula es ($C_{12}H_{22}O_{11}$). El azúcar refinado es obtenido por aplicación de procedimientos industriales de refinación, constituido por cristales de sacarosa pura, limpios, transparentes e incoloros; y que además cumplen con los requisitos

siguientes: ceniza sulfatada en 0,03-0,06%, humedad en porcentaje granulado 6,10% (Calvo, M .2005).

Mediante ácidos diluidos la $C_{12}H_{22}O_{11}$ se desdobla en glucosa y fructuosa, manteniendo el enlace entre ambos mediante un oxígeno puente entre los dos grupos carbonilo potenciales, lo cual indica que no posee poder reductor.

Por existir en una sola variedad, cristaliza fácilmente, lo cual puede impedirse agregando jarabe de glucosa, o por inversión de una pequeña cantidad de sacarosa mediante ácidos, o por la enzima Lactosa (Beta Galactosidasa) según (Calvo, M .2005).

La leche y la sacarosa, componentes fundamentales del dulce de leche, intervienen en distintas proporciones en su elaboración. La formulación debe ser establecida teniendo en cuenta el grado de concentración del producto final, la riqueza de la leche en materia grasa, y el tiempo que mediará entre la elaboración del dulce de leche y su posterior consumo como dice (Calvo, M .2005).

El porcentaje de sacarosa agregada a la mezcla para la elaboración de dulce de leche está en función de la materia grasa, lactosa y proteínas que posee la leche, como se detalla a continuación en la siguiente tabla III-2.

Tabla III-2: Cantidad de Azúcar a agregarse según la composición de la leche

Tipo de leche	Sacarosa en la mezcla
3% de materia grasa y 4.5% de lactosa	Del 18% al 23 % siendo 20% la cantidad optima
1.5% de materia grasa	19.5% de sacarosa con glucosa al 2 % en la mezcla
Si la leche contiene mayor tenor de proteínas y menor de lactosa	Se puede trabajar con un 30 % de sacarosa

Fuente: Roca. E. (2009)

3.1.1.2.1. Porcentaje de sacarosa con relación al grado de concentración del dulce de leche

La cantidad de sacarosa a añadirse deberá estar en relación inversa a la proporción de sólidos totales que se desea obtener durante la fabricación del dulce de leche; ello debido a que una mayor proporción de sólidos determina menor concentración de humedad en el producto, fenómeno físico que dificulta una adecuada solubilización de la sacarosa presente, originándose de este modo su cristalización (INTINTEC, 1975).

3.1.1.2.2. Porcentaje de sacarosa con relación a la materia grasa de la leche

Una mayor proporción de la materia grasa en la leche, permite adicionarle mayor cantidad de sacarosa para la fabricación de dulce de leche, sin que este soporte riesgos de cristalización en corto tiempo (INTINTEC, 1975).

3.1.1.2.3. Porcentaje de sacarosa con relación al almacenamiento del dulce de leche

La evaporación de la humedad contenida en el dulce de leche será mayor cuanto más demore en ser consumido; pudiendo disminuir en tal forma que rompa el equilibrio de solubilidad entre $C_{12}H_{22}O_{11}$ y humedad, provocando la aparición de cristales de sacarosa perceptibles al paladar.

En la parte práctica se establece que, cuando se emplea leche con un porcentaje de grasa que oscila alrededor del 3%, la cantidad de $C_{12}H_{22}O_{11}$ a agregarse no deberá excederse del 23% ni ser inferior al 18%, determinándose como la proporción más adecuada 20%; para obtener un dulce de leche final con una concentración de sólidos totales de 65-68%.

El dulce de leche cristaliza rápidamente cuando es almacenado a temperaturas inferiores a 0°C. Esto se da por la baja solubilización de la lactosa.

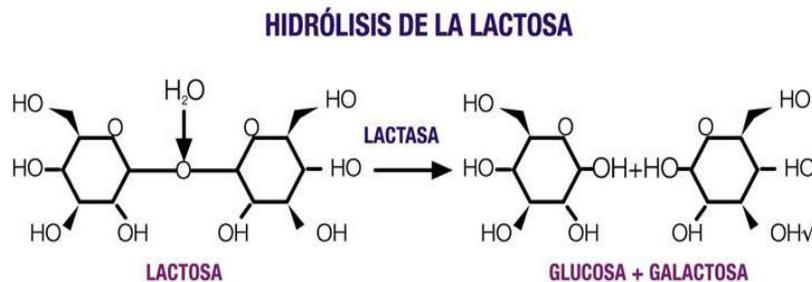
De resultar imprescindible almacenar el producto a bajas temperaturas, es recomendable elaborar el dulce de leche en una proporción de humedad mayor a la normal (50%) completando su concentración según los requerimientos, igualmente la proporción de sacarosa deberá ser menor a lo normal (INTINTEC, 1975).

Según Fennema (1985) y Smith (1991)

El uso de la enzima β -D-galactosidasa, enzima del grupo de las hidrolasas, rompe el enlace entre la galactosa y glucosa que son los dos azúcares que forman la lactosa.

Debido a su baja solubilidad, la lactosa en el dulce de leche ya se encuentra en una solución súper saturada. Esta solución también es afectada por la cantidad de sacarosa (solubilidad= 146 g/100 g agua) agregada que disminuye sustancialmente la solubilidad de lactosa. Bajo estas condiciones, la cristalización de lactosa es inevitable en el dulce de leche (Hough y colaboradores 1990). Esta reacción enzimática se muestra en la siguiente figura 3-3.

Figura 3-3: Reacción Enzimática de la Lactasa



Fuente: Roca. E. (2009)

3.1.1.3. Causas de la cristalización de los azúcares en el dulce de leche

Este defecto es conocido como sobresaturación del azúcar en el dulce de leche y motivado principalmente por las siguientes causas:

- **“Excesiva concentración de sólidos solubles (temperaturas entre 90-95 ° C y un tiempo óptimo menor a 5 horas de concentrado)”.**
- En la planta PIL Tarija S.A. su concentrado de sólidos tiene un tiempo de (5,0-5,5) horas, con un ingreso de presión de vapor a la marmita de (1,616) bares; de

acuerdo al **anexo 14** de la tabla de vapor sobre calentado del agua su temperatura oscila entre (105-110 ° C)

- **“Superficie de evaporación amplia y mal tapada (sin cubierta de tapa de la marmita)”**.
- La planta PIL Tarija S.A. se cuenta con la cubierta de la marmita fija, y también con una chimenea para su salida del vapor del concentrado.
- **“Ausencia de Glucosa”**.
- La planta PIL Tarija S.A. se adiciona la glucosa en polvo, pero de manera deficiente no respetando el grado de concentración del producto, este insumo debe ser agregado cuando alcance los 55 ° Brix el concentrado.
- **“Excesiva cantidad de sacarosa”**.
- La planta PIL Tarija S.A. no cumple las normas de adición de sacarosa establecidas como se muestra en la tabla III-2, ya que adiciona sacarosa al 20 % y la lactosa al 5.1 % y materia grasa al 3.2%, como se muestra en el **anexo 13**.
- **“Almacenaje prolongado”**
- En la planta PIL Tarija el dulce de leche está almacenado hasta que sea comercializado al mercado.
- **“Almacenaje a bajas temperaturas (0-5°C)”**.
- En la planta PIL Tarija S.A. el almacenaje del dulce de leche terminado es a 20-25 ° C.

Con todas estas causas mencionadas se tiene mayores posibilidades de que el dulce de leche cristalice sus azúcares en un tiempo de 2 a 3 meses (SENATI, 2011)

3.1.1.4. Soluciones al problema de la cristalización de azúcares en el dulce de leche

a) Control sobre la formulación

La formulación y la leche utilizada para la fabricación del dulce de leche influyen profundamente en el comportamiento físico-químico del producto final, al mismo tiempo de su composición y rendimiento del producto terminado (SENATI, 2011).

Para una leche con un promedio de 3% de grasa y 4.5% de lactosa se recomienda agregar sacarosa en un 18-23%. Para leches con porcentajes de grasa de 1.5% se recomienda agregar 19.5% de sacarosa con la salvedad de que un máximo de 2% de esa sacarosa sea sustituida por glucosa. De forma general se puede decir que la cantidad de sacarosa a utilizarse depende del contenido de grasa, lactosa y proteínas de leche. Si la leche contiene un mayor porcentaje de proteínas que lactosa, se puede utilizar hasta un 30% de sacarosa (SENATI, 2011)

La utilización de leche cruda en el proceso de elaboración de dulce de leche ayuda a evitar considerablemente la cristalización de azúcares, ya que al tener aproximadamente 50 enzimas naturales presentes y aunque se encuentren en pequeñas cantidades estas enzimas, algunas tiene mucha importancia en la estabilidad de la leche durante el procesado y almacenamiento. En la industria láctea son importantes como índice de control de algunos productos lácteos; este tipo de leche cruda sin ser procesada es aprovechable para romper los enlaces peptídicos del azúcar, y de esta manera prolongar la formación de cristales de azúcares en el producto terminado del dulce de leche. (SENATI, 2011)

Poco antes de terminar la concentración, aproximadamente cuando el concentrado del producto esté entre (55-60) ° Brix, se agrega la glucosa en polvo, esto para que tenga un mejor rendimiento del producto (SENATI, 2011).

En PIL Tarija S.A. el agregado de glucosa en polvo, es cuando empieza el proceso de mezclado en el agitador con ancla.

b) Hidrólisis enzimática

Esta capacidad de degradar a la lactosa en los monosacáridos glucosa y galactosa, es precisamente la que se aprovecha en la industria de dulce de leche para disminuir el efecto nocivo de la cristalización excesiva de la lactosa sobre la estabilidad organoléptica del producto, como se muestra anteriormente en la figura 3-2.

Constituye uno de los métodos más efectivos, la leche puede ser hidrolizada en frío (4° C un tiempo de inoculación de 12 horas) o caliente (32° C un tiempo de inoculación de 2 horas); en ambos casos se debe pasteurizar la leche para antes del

tratamiento de hidrólisis, esto para evitar un alto desarrollo de microorganismos. (Revista Tecnológica ESPOL – RTE, Vol. 28, N. 3, 53-68), (Noviembre 2015)

La utilización de la enzima lactasa (beta galactosidasa) ocasiona modificaciones en las características físicas y químicas del dulce de leche:

- **Poder dulcificante:** la mezcla de glucosa y galactosa es de 2 a 3 veces más dulce que la lactosa.

Esto se refleja en la siguiente tabla III-3:

Tabla III-3: Grado de Dulzura de los EducOLORANTES

EducOLORANTE	Grado de Dulzura (° Brix)
Sacarosa	100
Fructuosa	173.3
Glucosa	74.3
Lactosa	16
Maltosa	32
Galactosa	32

Fuente: Agro información, (2004)

- **Digestibilidad:** la lactosa no es digerible para la gran mayoría de los individuos. La glucosa y la galactosa puede ser consumida por personas intolerantes a la lactosa. Sus efectos del consumo excesivo de lactosa son: riesgo a alergias o asma, cáncer y problemas inmunológicos.
- **Viscosidad:** la glucosa y la galactosa presentan baja viscosidad lo que permite alta concentración de sólidos sin que ocurra cristalización.
- **Cuerpo, textura, sabor:** son modificados debido a la liberación de galactosa. El sabor queda más acentuado (SENATI, 2011). Esto se refiere a un dulce de leche con características sensoriales de mejor calidad.

c) Almacenamiento Controlado

El dulce de leche cristaliza rápidamente cuando es sometido a temperaturas de refrigeración. La lactosa por su escasa solubilidad a bajas temperaturas y los ácidos grasos de la leche por su elevado punto de fusión, son los elementos del dulce de leche más propensos a cristalizarse a bajas temperaturas, paralelamente es necesario tomar en consideración el comportamiento similar de la sacarosa (SENATI, 2011).

Hosken, F. (1969) menciona:

El mejor rango de temperatura para almacenar un dulce de leche se halla entre los (20-25) ° C, en una cámara de almacenamiento, sin embargo la acción de la temperatura está ligada al uso de conservantes ($C_6H_7KO_2$, entre otros) (pag.13).

Zunino, A. (1998) dice:

Otro factor que produce la cristalización en la elaboración de dulce de leche, las características de los ingredientes afectan al comportamiento físico-químico del producto final, su composición y su rendimiento. La velocidad del enfriamiento para su envasado es muy importante ya que un descenso de temperaturas muy lento favorece la formación de grandes cristales, en tanto que un rápido descenso violento de la temperatura hasta 50-55 ° C facilitará para que no se forme cristales de azúcares en tamaños notorios, (pag.11).

Zunino, A. (1998):

El envasado se realiza generalmente en el dulce de leche a unos (50-55) ° C, para permitir el fácil flujo por la boquilla de dosificación. Envasar a mayor temperatura tendría el inconveniente de que continuarían produciéndose vapores dentro del envase, cuando es sellado, ya que sigue condensado en la superficie interior de la lámina de aluminio, y esto podría facilitar la aparición de colonias de hongos, porque se genera gotas de agua condensada. (pag12).

En la tabla III-4, se especifican las cantidades específicas de aditivos, según la cantidad de leche utilizada en el proceso de elaboración de dulce de leche.

Tabla III-4: Cantidades máximas permitida de aditivos según la cantidad de leche utilizada

Aditivo	Cantidad máxima permitida	Según Norma
Sacarosa	30 kg por 100 litros de leche Pasteurizada	SENATI (2011)
Glucosa	40 % total de azúcares agregados en el dulce de leche	Protocolo de calidad para el dulce de leche
Bicarbonato	0.04 al 0.06 % de la formulación	Protocolo de calidad para el dulce de leche
Enzima lactosa	Hasta que la lactosa se hidrolice en un 20 % 4 ml por cada 100 litros de leche	Bibliografía en la norma boliviana 451-81 no se especifica

Fuente: INTINTEC (1975),” *Elaboración de Dulce de leche*”

En PIL Tarija este defecto de cristalización se da de una manera muy peculiar en el dulce de leche, pero de la misma manera no se sabe exactamente cuál es el causante de este problema, por lo cual se hará un análisis de todas sus variables planteadas en el diseño experimental posteriormente planteado en la figura 3-2.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN

3.2.1. Diseño Experimental

Para optimizar el proceso tecnológico de elaboración de dulce de leche y evitar la cristalización de sus azúcares en la planta PIL Tarija S.A., es necesario conocer qué variables influyen significativamente en el proceso y cómo afectan.

Primero se recoge en una lista todas las variables que podrían influir en la respuesta, a continuación, se realiza una serie de experimentos que no interesa modificar, se anota

el valor de las que no se puede controlar, y se varían las restantes. Finalmente, se obtiene la información comparando la variación de las respuestas entre experimentos.

El diseño estadístico de experimentos contempla una amplia variedad de estrategias experimentales que son óptimas para generar la información que se busca. Estos experimentos están planteados de forma que se varían simultáneamente varios factores pero se evita que se cambien siempre en la misma dirección. Al no haber factores correlacionados se evitan experimentos redundantes. Además los experimentos se contemplan de modo que la información buscada se obtiene combinando las respuestas de todos ellos. Esto permite obtener la información con el mismo número de experimentos, por lo tanto con el menor costo y con la menor incertidumbre posible porque los errores aleatorios de las respuestas se promedian.

En el presente trabajo se realiza el diseño factorial, en el cual se tiene dos factores a dos niveles con dos repeticiones.

FACTOR A: Temperatura de concentrado del producto terminado

FACTOR B: Tiempo de concentrado del producto terminado

$$N_{\text{exp}} = (N^{\circ} \text{ niveles } F_A * N^{\circ} \text{ niveles } F_B * N^{\circ} \text{ niveles } F_C) * N^{\circ} \text{ repeticiones}$$

$$N_{\text{exp}} = (2 * 2) * 2 = 8$$

Tabla III-5: Factores y Nivel de experimentación en la optimización del dulce de leche en PIL Tarija S.A.

FACTORES	NIVEL	
	BAJO (-)	ALTO (+)
A= Temperatura (° C)	110	125
B= Tiempo (h)	4,5	5,5

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla III-6: Plan de experimentación primera repetición

Muestra	Factor de Temperatura (° C)	Factor de Tiempo (h)
1	110	5,5
2	125	4,5
3	110	5,5
4	125	4,5

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla III-7: Plan de experimentación segunda repetición

Muestra	Factor de Temperatura (° C)	Factor de Tiempo (h)
1	110	5,5
2	125	4,5
3	110	5,5
4	125	4,5

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla III-8: Matriz de diseño primera repetición

Muestra	Factor de Temperatura (° C)	Factor de Tiempo (h)
1	-1	+1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	-1

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla III-9: Matriz de diseño segunda repetición

Muestra	Factor de Temperatura (° C)	Factor de Tiempo (h)
1	-1	+1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	-1

Fuente: Elaboración Propia (2018)

3.2.2. Optimización en PIL Tarija S.A. en el proceso de elaboración de dulce de leche para evitar la cristalización de sus azúcares en el producto terminado

En la siguiente Figura 3-4, se realiza el análisis de las cuatro alternativas de solución, viendo sus variables dependientes e independientes para seleccionar la alternativa de solución más apropiada al problema presente.

Figura 3-4: Diseño experimental Literal de Optimización para evitar la cristalización de azúcares en el dulce de leche de la planta PIL Tarija S.A basados en fundamentos literarios acerca de este problema

Alternativas de solución	A	B	C	D
Variables constantes	<ul style="list-style-type: none"> Sabor Olor Color Textura formulación de insumos y parámetros de tiempo y temperatura actual de PIL Tarija Fig.2-5 	<ul style="list-style-type: none"> Sabor Olor Color Textura 	<ul style="list-style-type: none"> Sabor Olor Color Textura 	<ul style="list-style-type: none"> Sabor Olor Color Textura formulación de insumos y parámetros de tiempo y temperatura actual de PIL Tarija Fig.2-5
Parámetros que varían en su cocción (temperatura; tiempo y presión vapor)	<p>Se utilizan los mismos parámetros en esta alternativa, del proceso actual de PIL Tarija S.A.</p> <ul style="list-style-type: none"> 4,5 horas 105-110 °C (Temperatura final de concentrado) P_{abs}=1,616 bares de presión de vapor 	<ul style="list-style-type: none"> 5,5 horas de concentrado 120-125 °C (final) P_{abs}=1,866bares de presión de vapor Temperatura de enfriado violento a 50-55°C, para su envasado (SENATI) 	<ul style="list-style-type: none"> 5,5horas de concentrado 120-125 °C (final) P_{abs}=1,866bares de presión de vapor Temperatura de enfriado violento a 50-55°C, para su envasado (SENATI)) 	<ul style="list-style-type: none"> 4,5 horas 105-110 °C (Temperatura final de concentrado) P_{abs}=1,616 bares de presión de vapor T=50-55 °C de enfriado, para su envasado (SENATI)
Formulación de insumos	<p>Leche sin proceso de pasteurización, pero si con el proceso de homogenización, y a continuación se especifica la formulación de insumos actual de la planta PIL Tarija.</p> <p>materia grasa=3.2% lactosa=5.1 %</p>	<p>Utilización de leche Pasteurizada y homogenizada</p> <p>materia grasa=3% lactosa=4.5 %</p>	<p>Utilización de leche Pasteurizada, y homogenizada con adición de glucosa en polvo a 55° Brix del concentrado como manda el (SENATI)</p> <p>materia grasa=3% lactosa=4.5 %</p>	<p>Utilización de una enzima lactasa de nombre β- Galactosidasa, con la misma formulación de ingreso de :</p> <p>materia grasa=3% lactosa=4.5 %</p>

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Con estas variables constantes, y parámetros de variación y una nueva formulación en los insumos se llega a la siguiente hipótesis planteada en la siguiente tabla III-10.

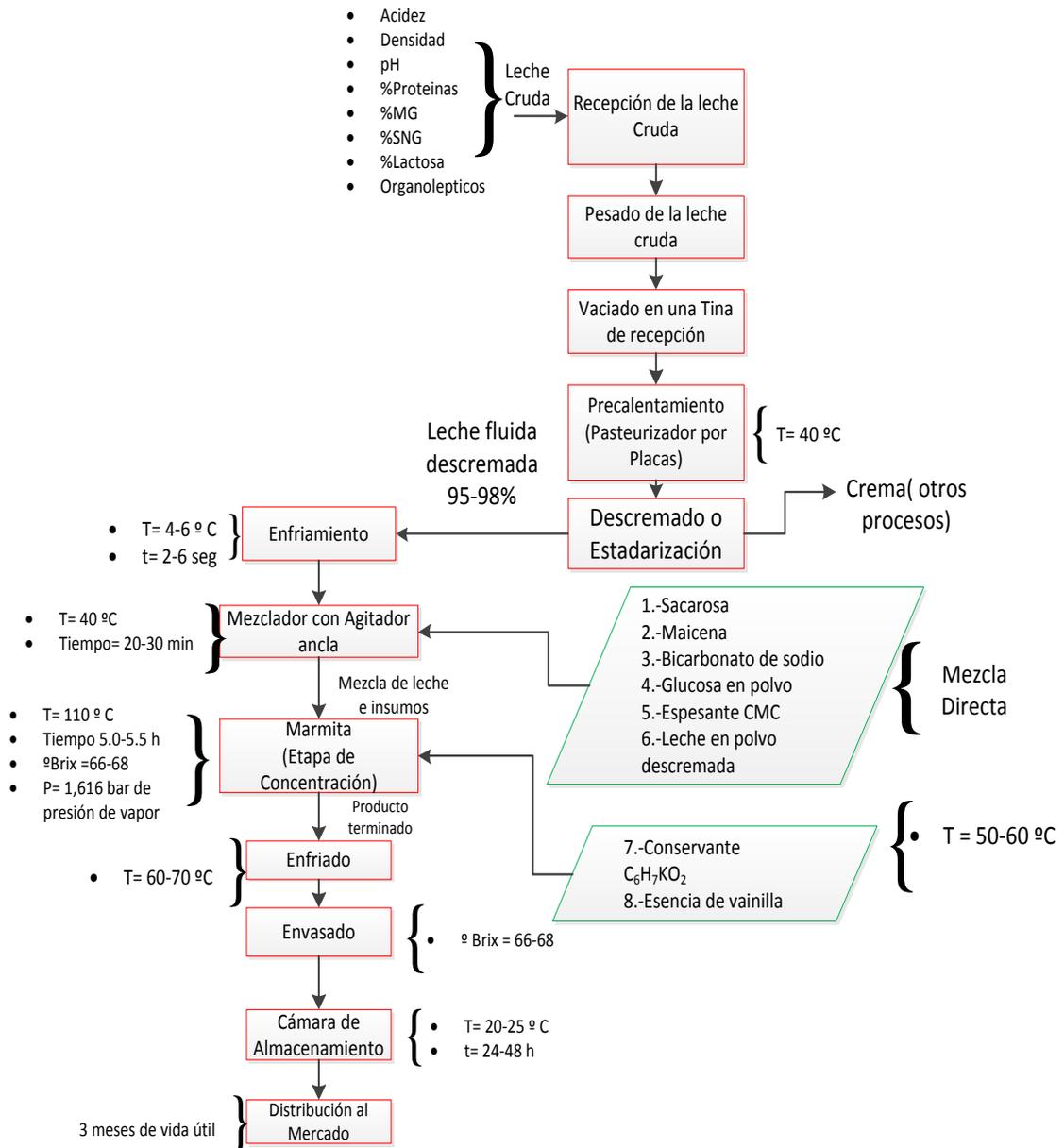
Tabla III-10: Hipótesis del diseño de Optimización planteado para evitar la cristalización de Azúcares en PIL Tarija S.A.

Alternativas de solución	A	B	C	D
HIPÓTESIS	Se obtendrá un dulce de leche con más brillo, mejor textura y color, y con mayor probabilidad de la no formación de cristales por el poder enzimático natural que contiene la leche cruda, sin ser procesada.	Da una certeza de que su formación de cristales será más lenta, esto debido a las cantidades optimas de adición de insumos, diferentes parámetros de tiempo de concentrado temperatura de concentrado y temperatura de enfriado para su envasado.	Se obtendrá un dulce de buen color, sabor brillo y textura. Por la mejor adición de glucosa en polvo a 55 ° Brix de Concentrado, para ayudar en neutralizar la formación de cristales y con la ayuda también de los diferentes parámetros de temperatura y tiempo empleados.	Con esta enzima Lactasa se obtendrá un dulce de leche de buen sabor, color, brillo y textura, y con mayor probabilidad de que no se formen cristales en 5 meses aproximados (SENATI), ya que se rompen los enlaces de la lactosa, convirtiéndolo en azúcares simples.

Fuente: Elaboración Propia (2018)

3.2.2. Alternativa “A”: Utilización de leche cruda en el proceso de elaboración de dulce de leche, con la actual formulación de la planta PIL Tarija S.A. en los parámetros de tiempo, temperatura y porcentajes de lactosa, materia grasa y sacarosa.

Figura 3-5: Diagrama de bloque “Alternativa A”



Fuente: Elaboración Propia. (2018)

3.2.2.1. Descripción de cada una de las etapas del proceso “A” de optimización

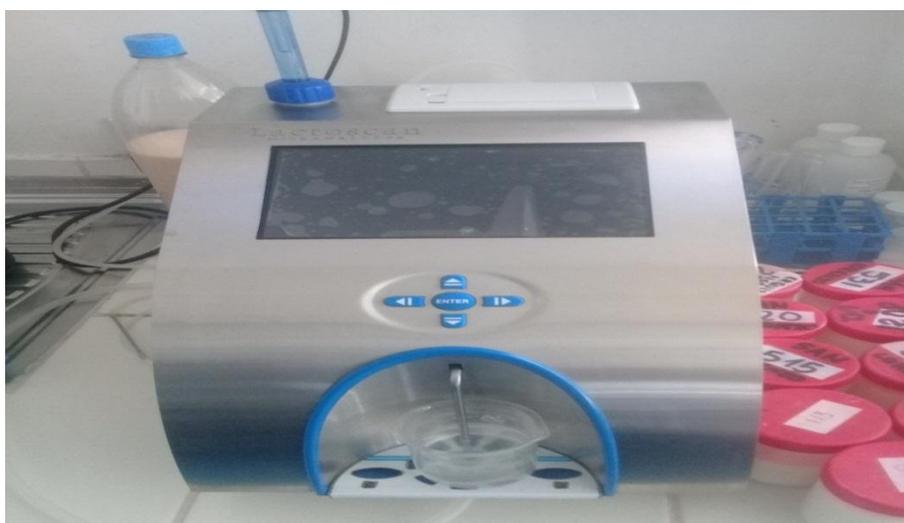
- Se empieza controlando los siguientes parámetros de la materia prima que se detalla en la siguiente tabla III-11, Este control se hace en el equipo de nombre “Lactoscan” ANEXO 21, figura 3-6. También se hace un control Organoléptico (Color, Olor, Sabor).

Tabla III-11: Parámetros Físicoquímicos de control de la leche cruda de vaca

ANALISIS	VALOR	UNIDAD
Acidez	13	° D
Lactosa	5	%
MG	3,5	%
SNG	7,92	%
Proteínas	2,89	%
pH	7	-

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018), (Equipo, LACTOSCAN)

Figura 3-6: Equipo de Medición de Parámetros Físicoquímicos de la leche cruda de Vaca “LACTOSCAN”



Fuente: Propia. (2018), ANEXO 21

- Posteriormente luego del control Fisicoquímico de la leche, pasa a una balanza de pesado de la leche cruda, en este proceso se utiliza leche cruda para la elaboración, solo se separa la crema de la leche cruda mediante una centrifuga durante un periodo de (5-15) minutos a una temperatura de 40 ° C.
- Siguiendo la leche natural pasa a un tanque con agitar tipo ancla, donde se mantiene la temperatura de 40 ° C, con una agitación constante.
- A esta temperatura se mezclan los ingredientes sólidos (azúcar, espesante CMC, Bicarbonato de Sodio, Glucosa en polvo y la leche descremada en polvo).
- Se deja en agitación constante durante (20-30) minutos a la misma temperatura, y posteriormente se lo pasa por un proceso de bombeo a la marmita.
- En este punto se hace el ingreso de vapor lentamente, el cual le da calor a la marmita doble camisa, con una agitación constante (para tener una mezcla homogénea), se empieza a presión atmosférica (1016 hPa=1,016 bares, Ciudad de Tarija-Bolivia) en la marmita la presión relativa de vapor llega a 0,60 bares de presión, con estas dos presiones se calculó la presión absoluta en la **(Ec.2-1)**, Capítulo II. Y de igual manera se fue al **ANEXO 14** con el valor de la presión absoluta, donde se muestra una temperatura de concentrado del producto terminado de 113,5 ° C.
- Al proceso de concentrado en la marmita, se le adiciona un conservante en polvo (sorbato de potasio), y la esencia de vainilla líquida a temperaturas de (50-60) ° C, esto para que se pueda mezclar rápidamente con los demás insumos, y no se volatilice la esencia.
- El periodo de concentrado final en la marmita oscila entre (5,0-5,5) horas, hasta obtener un producto con (66-68) ° Brix.
- Se procede a enfriar el dulce de leche, hasta que alcance una temperatura de (60-70) ° C, para su envasado, haciendo enfriar con agua fría que es inyectada a la marmita doble camisa.
- Se realiza el envasado en forma manual, y de inmediato el sellado con lámina de aluminio termosellable, y posteriormente el volcado de cada envase de dulce de leche (Figura 2-6), Capítulo II, de esta forma generamos vacío dentro del envase.

- Pasado un tiempo de (10-12 horas) de enfriamiento del producto a temperatura ambiente ($T=20-25$) °C, se tapan con una sobre tapa plástica, donde va establecida su fecha de vencimiento, para luego embalar en cajas de cartón para llevarlas a cámara de almacenamiento, donde permanece a una temperatura de (20-25) ° C, y se las guarda hasta su comercialización, durante un periodo de 24-48 horas.
- Continuando se tomó 4 muestras del producto terminado, para las pruebas experimentales correspondientes la cual consiste en numerar cada muestra, y poner todas las características con las que se hizo, esto para llevarlas a una cámara de cuarentena donde la someteremos a temperaturas críticas de (40-50)° C, durante un periodo de 90 días, haciendo una inspección una por una cómo reaccionan cada 30 días en su formación o no de cristales de azúcares, viendo el crecimiento de sólidos solubles en un refractómetro, y también haciendo un análisis sensorial general del dulce de leche. A continuación en la figura 3-7, se muestra la toma de muestras de dulce de leche.

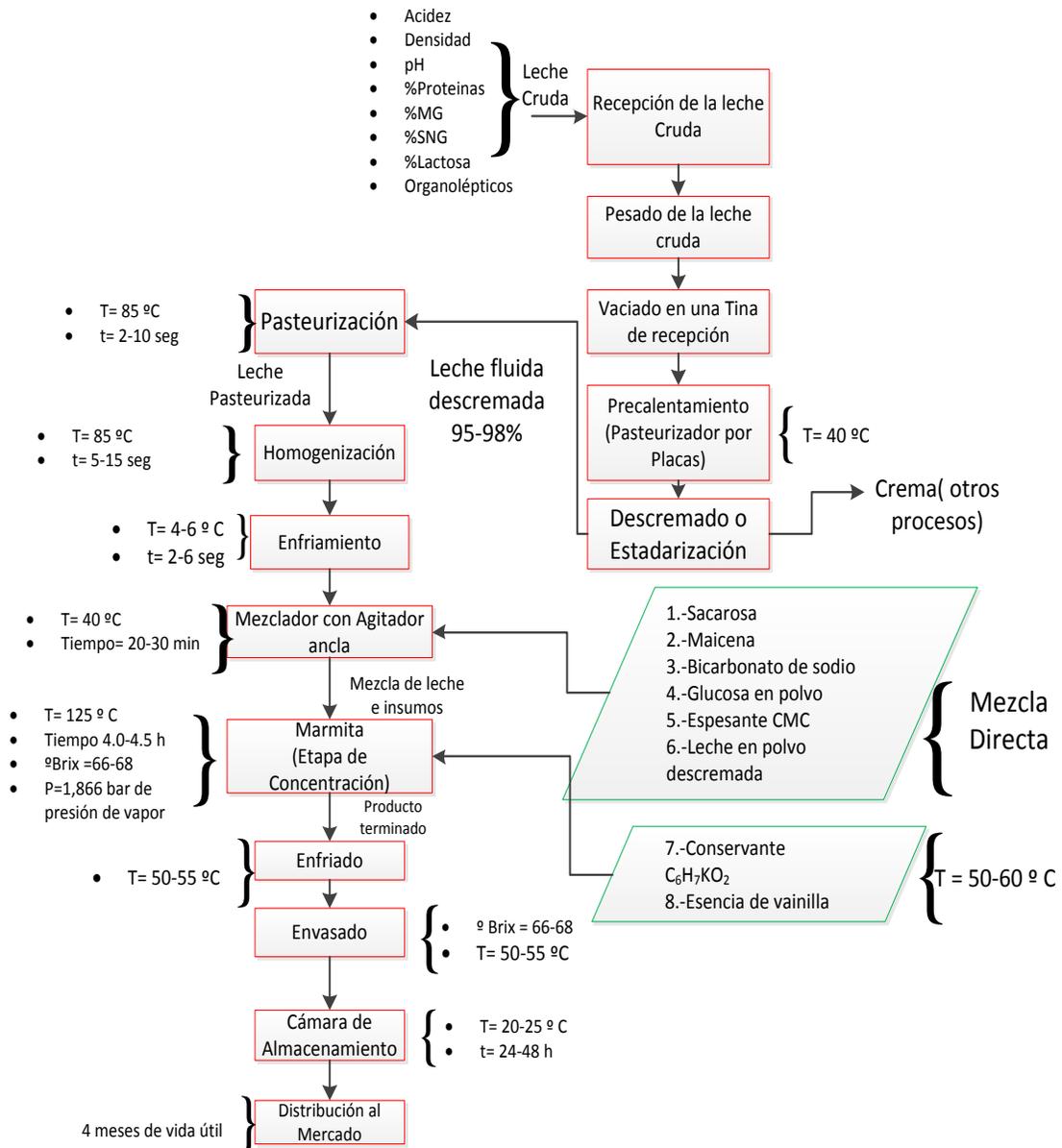
Figura 3-7: Muestras de dulce de leche para someterlas a temperaturas de (40-50) ° C, “Prueba A”



Fuente: Propia. (2018)

3.2.3. Alternativa “B”: “Utilización de leche Pasteurizada en el proceso de elaboración de dulce de leche, con una nueva formulación en los parámetros de tiempo y temperatura de concentrado y enfriado en el envasado, y porcentajes de lactosa, materia grasa y sacarosa”

Figura 3-8: Diagrama de bloques “Alternativa B”



Fuente: Elaboración Propia (2018)

3.2.3.1. Descripción de cada una de las etapas del proceso “B” de optimización

- De igual manera que en proceso de la alternativa A, se empieza controlando los parámetros fisicoquímicos de la leche cruda; en este proceso se utilizaron los siguientes datos que se muestra en el **ANEXO 17** detallado en la siguiente tabla III-12. También se hace un control Organoléptico (Color, Olor, Sabor).

Tabla III-12: Parámetros Fisicoquímicos de control de la leche cruda de vaca, Alternativa B

ANALISIS	VALOR	UNIDAD
Acidez	13	° D
Lactosa	4,5	%
MG	3,0	%
SNG	8	%
Proteínas	2,89	%
pH	7	-

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018), (Equipo, LACTOSCAN)

- Posteriormente pasa a una balanza para su pesado, y luego es vaciado a una tina de recepción donde es bombeada al pasteurizador por placas.
- En el pasteurizador por placas se precalienta la leche hasta los 40 ° C, este precalentamiento es el primer proceso en el equipo.
- Después de precalentarla pasa por un proceso de bombeo a la centrifuga a la misma temperatura (40 ° C), donde se separa la crema de la leche.
- Luego de este periodo la leche sin crema regresa al pasteurizador por placas, donde pasa a una temperatura de 85 ° C, durante un periodo de (2-10) segundos.
- Después de su pasteurización la leche, a la misma temperatura de 85 ° C, pasa por otro proceso de bombeo al homogeneizador donde se homogeniza durante un periodo de (5-15) segundos.

- Por último la leche ya pasteurizada y homogenizada vuelve al pasteurizador por placas, donde pasa por un proceso de enfriamiento a (4-6) ° C, en un tiempo de (2-6) segundos, y es distribuida para los diferentes procesos lácteos.
- Siguiendo, la leche pasteurizada y homogenizada pasa a un tanque con agitar tipo ancla, donde se mantiene la temperatura de 40 ° C, con una agitación constante.
- A esta temperatura se mezclan los ingredientes sólidos (azúcar, espesante CMC, Bicarbonato de Sodio, Glucosa en polvo y la leche descremada en polvo).
- Se deja en agitación constante durante (20-30) minutos a la misma temperatura, y posteriormente se lo pasa por un proceso de bombeo a la marmita.
- En este punto se hace el ingreso de vapor lentamente, el cual le da calor a la marmita doble camisa, con una agitación constante (para tener una mezcla homogénea), se empieza a presión atmosférica (1016 hPa=1,016 bares, Ciudad de Tarija-Bolivia), en la marmita la presión relativa de vapor llega a 0,85 bares de presión, con la cual calculamos la presión absoluta a continuación:

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{Relativa}} * P_{\text{Atmosférica}} \quad (\text{Ec.3-1})$$

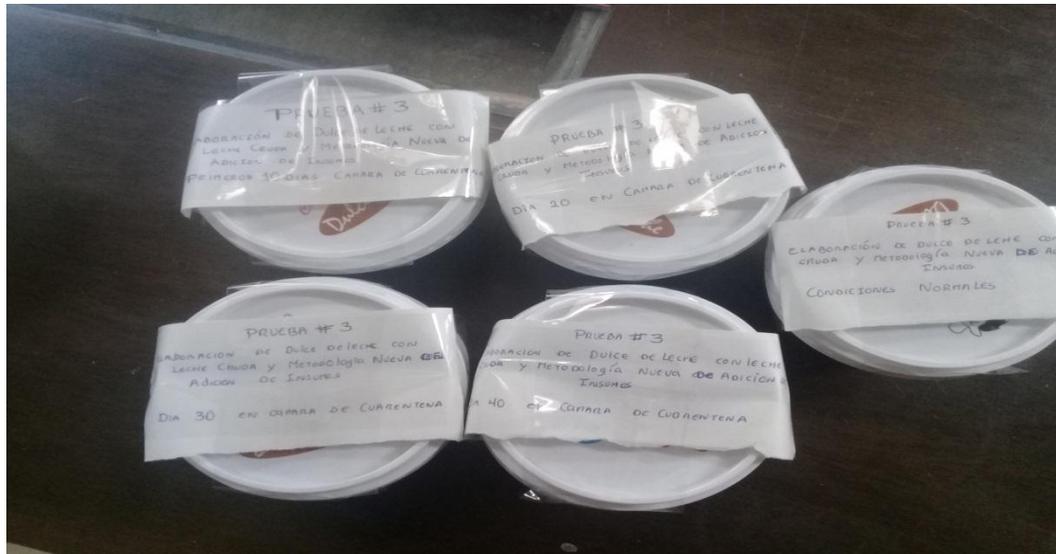
$$P_{\text{absoluta}} = 0,85 \text{ Bar} * 1,016 \text{ Bar}$$

$$P_{\text{absoluta}} = 1,866 \text{ Bar}$$

- Con este valor de presión absoluta calculado, se va a la tabla de presiones de vapor de agua correspondiente al **ANEXO 14**, donde se obtiene la temperatura de concentrado del producto terminado que es equivalente a 125,0 ° C.
- En el proceso de concentrado en la marmita, se le adiciona un conservante en polvo (sorbato de potasio), y la esencia de vainilla líquida a temperaturas de (50-60) ° C, esto para que se pueda mezclar rápidamente con los demás insumos, y no se volatilice la esencia.

- El periodo de concentrado final en la marmita está entre (4,0-4,5) horas, con un ingreso de (0,70-0,85) bares de presión relativa de vapor, hasta obtener un producto con (66-68) ° Brix.
- Se procede a enfriar el producto, hasta que alcance una temperatura de (50-55) ° C, para su envasado, haciendo el ingreso de agua a la marmita doble camisa.
- Se realiza el envasado en forma manual, y de inmediato el sellado con lámina de aluminio termosellable, y posteriormente el volcado de cada envase de dulce de leche (Figura 2-6), de esta forma generamos vacío dentro del envase.
- Pasado un tiempo de (10-12 horas) de enfriamiento del producto a temperatura ambiente ($T=20-25$) ° C, se tapan con una sobre tapa plástica, donde va establecida su fecha de vencimiento, para luego embalar en cajas de cartón para llevarlas a cámara de almacenamiento, donde permanece a una temperatura de (20-25) ° C, y se las guarda hasta su comercialización, durante un periodo de 24-48 horas.
- Continuando se tomó 4 muestras del producto terminado, para las pruebas experimentales correspondientes las cuales consisten en numerar cada muestra, y poner todas las características con las que se hizo, esto para llevarlas a una cámara de cuarentena donde la someteremos a temperaturas críticas de (40-50)° C, durante un periodo de 90 días, haciendo una inspección una por una cómo reaccionan cada 30 días en su formación o no de cristales de azúcares, viendo el crecimiento de sólidos solubles en un refractómetro, y también haciendo un análisis sensorial general del dulce de leche. A continuación en la figura 3-9, se muestra la toma de muestras de dulce de leche.

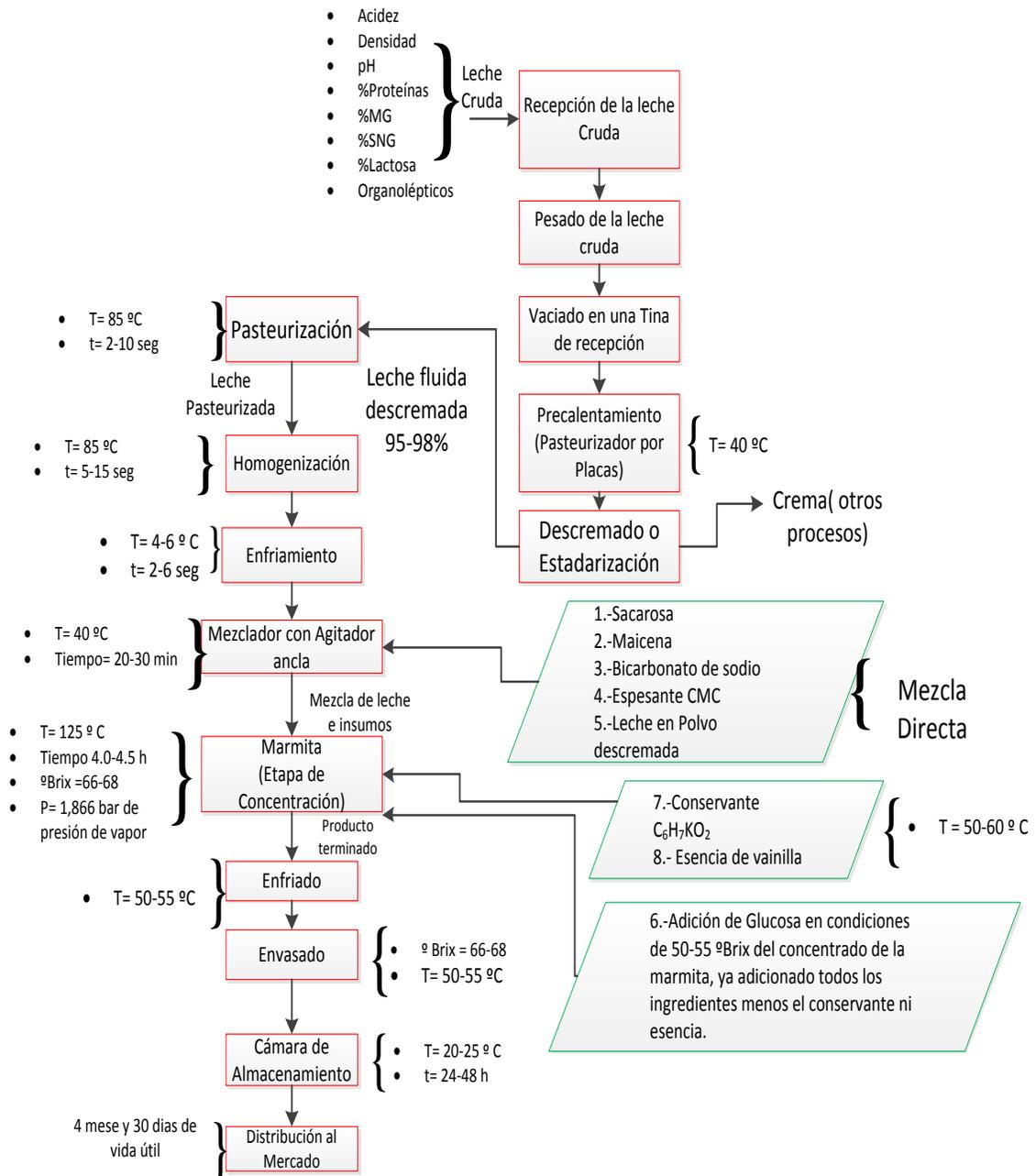
Figura 3-9: Muestras de dulce de leche para someterlas a temperaturas de (40-50) ° C, “Prueba B”



Fuente: Propia. (2018)

3.2.4. Alternativa “C”: “Utilización de leche Pasteurizada en el proceso de elaboración de dulce de leche, con la misma formulación de la alternativa “B”, modificando la adición de la glucosa en polvo en el proceso de concentración en la marmita”

Figura 3-10: Diagrama de bloques “Alternativa C”



Fuente: Elaboración Propia. (2018)

3.2.4.1. Descripción de cada una de las etapas del proceso “C” de optimización

- De igual manera que en proceso de la alternativa B, se empieza controlando los parámetros fisicoquímicos de la leche cruda, en este proceso se utilizaron los datos que muestra el **ANEXO 17** detallado en la tabla III-13. También se hace un control Organoléptico (Color, Olor, Sabor).

Tabla III-13: Parámetros Fisicoquímicos de control de la leche cruda de vaca, Alternativa C

ANALISIS	VALOR	UNIDAD
Acidez	13	° D
Lactosa	4,5	%
MG	3,0	%
SNG	8	%
Proteínas	2,89	%
pH	7	-

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018), (Equipo, LACTOSCAN)

- Posteriormente pasa a una balanza para su pesado, y luego es vaciado a una tina de recepción donde es bombeada al pasteurizador por placas.
- En el pasteurizador por placas se precalienta la leche fresca hasta los 40 ° C, este precalentamiento es el primer proceso en el equipo.
- Después de precalentarla pasa por un proceso de bombeo a la centrifuga a la misma temperatura 40 ° C, donde se separa la crema de la leche
- Luego de este periodo la leche sin crema regresa al pasteurizador por placas, donde pasa a una temperatura de 85 ° C, durante un periodo de (2-10) segundos.
- Después de su pasteurización la leche, a la misma temperatura de 85 ° C, pasa por otro proceso de bombeo al homogeneizador durante un periodo de (5-15) segundos.

- Por último la leche ya pasteurizada y homogenizada vuelve al pasteurizador por placas, donde pasa por un proceso de enfriamiento a (2-6) ° C, y distribuida para los diferentes procesos lácteos.
- Siguiendo, la leche pasteurizada y homogenizada pasa a un tanque con agitar tipo ancla, donde se mantiene la temperatura de 40 ° C, con una agitación constante.
- A esta temperatura se mezclan los ingredientes sólidos (azúcar, espesante CMC, Bicarbonato de Sodio y la leche descremada en polvo).
- Se deja en agitación constante durante (20-30) minutos a la misma temperatura, y posteriormente se lo pasa por un proceso de bombeo a la marmita.
- En este punto se hace el ingreso de vapor lentamente, el cual le da calor a la marmita doble camisa, con una agitación constante (para tener una mezcla homogénea), se empieza a presión atmosférica (1016 hPa=1,016 bares, Ciudad de Tarija-Bolivia), en la marmita la presión relativa de vapor llega a 0,85 bares de presión; con estas dos presiones se calculó la presión absoluta en la **(Ec.3-1)**, Capítulo III. y de igual manera se fue al **ANEXO 14** con el valor de la presión absoluta, donde se muestra una temperatura de concentrado del producto terminado de 125,0 ° C.
- La glucosa en polvo se adiciona cuando el concentrado alcanza los (50- 55) ° Brix, este procedimiento se da por el protocolo de elaboración de dulce de leche, que ayuda a evitar una cristalización de azúcares más rápida en el producto terminado.
- Posteriormente, en el proceso de concentrado en la marmita, se le adiciona un conservante en polvo (sorbato de potasio), y la esencia de vainilla líquida a temperaturas de (50-60) ° C, esto para que se pueda mezclar rápidamente con los demás insumos, y no se volatilice la esencia.
- El periodo de concentrado final en la marmita está entre (4,0-4,5 horas), con un ingreso de (0,70-0,85) bares de presión de vapor, hasta obtener un producto con (66-68) ° Brix.

- Se procede a enfriar el producto, hasta que alcance una temperatura de (50-55) ° C, para su envasado, haciendo el ingreso de agua a la marmita doble camisa.
- Se realiza el envasado en forma manual, y de inmediato el sellado con lámina de aluminio termosellable, y posteriormente el volcado de cada envase de dulce de leche (Figura 2-6), Capítulo II; de esta forma generamos vacío dentro del envase.
- Pasado un tiempo de (10-12 horas) de enfriamiento del producto a temperatura ambiente (T=20-25) ° C, se tapan con una sobre tapa plástica, donde va establecida su fecha de vencimiento, para luego embalar en cajas de cartón para llevarlas a cámara de almacenamiento, donde permanece a una temperatura de (20-25) ° C, y se las guarda hasta su comercialización un periodo entre 24-48 horas.
- Continuando, se tomó 4 muestras del producto terminado, para las pruebas experimentales correspondientes las cuales consisten en numerar cada muestra, y poner todas las características con las que se hizo, esto para llevarlas a una cámara de cuarentena donde la someteremos a temperaturas críticas de (40-50° C), durante un periodo de 90 días, haciendo una inspección una por una cómo reaccionan cada 30 días en su formación o no de cristales de azúcares, viendo el crecimiento de solidos solubles en un refractómetro, y también haciendo un análisis sensorial general del dulce de leche. A continuación en la figura 3-11, se muestra la toma de muestras de dulce de leche.

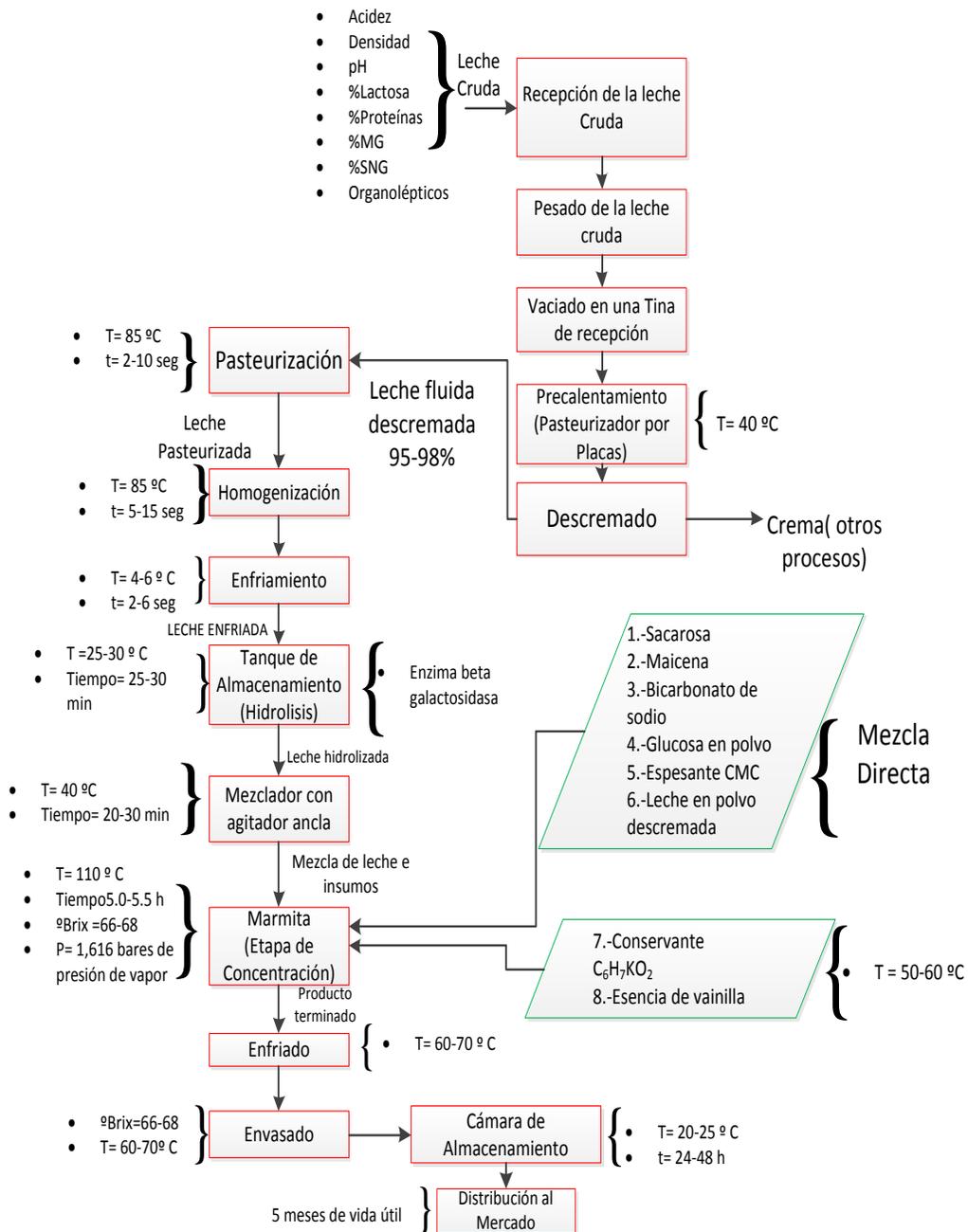
Figura 3-11: Muestras de dulce de leche para someterlas a temperaturas de (40-50) ° C, “Prueba C”



Fuente: Propia. (2018)

3.2.5. Alternativa “D”: “Utilización de leche Pasteurizada con la implementación de una enzima Lactasa (Beta Galactosidasa), en el actual proceso de elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

Figura 3-12: Diagrama de bloques “Alternativa D”



Fuente: Elaboración Propia (2018)

3.2.5.1. Descripción de cada una de las etapas del proceso “D” de optimización

- Observación de sólidos o cuerpos en suspensión en la leche cruda.
- De igual manera que en proceso de la alternativa A, se empieza controlando los parámetros fisicoquímicos de la leche cruda; en este proceso se utilizaron los siguientes datos que muestra el **ANEXO 13** detallado en la siguiente tabla III-14. También se hace un control Organoléptico (Color, Olor, Sabor).

Tabla III-14: Parámetros Fisicoquímicos de control de la leche cruda de vaca, Alternativa D

ANALISIS	VALOR	UNIDAD
Acidez	13	° D
Lactosa	5,1	%
MG	3,20	%
SNG	8,0	%
Proteínas	2,89	%
pH	7	-

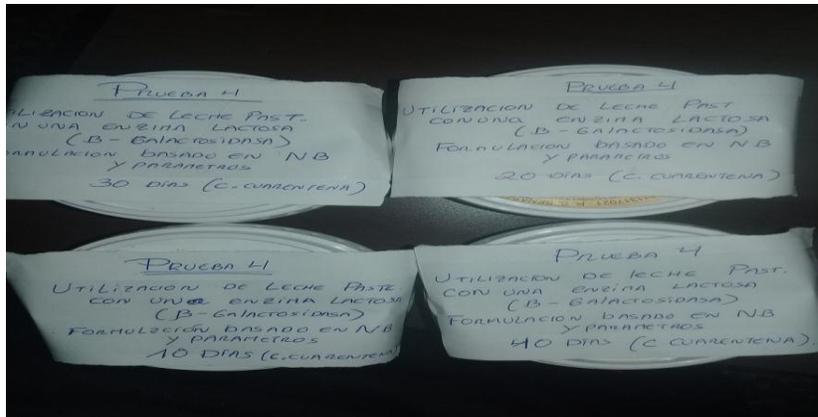
Fuente: PIL Tarija S.A. (2018), (Equipo, LACTOSCAN)

- Posteriormente pasa a una balanza para su pesado, y luego es vaciado a una tina de recepción donde es bombeada al pasteurizador por placas.
- En el pasteurizador por placas se precalienta la leche hasta los 40 ° C, este precalentamiento es el primer proceso en el equipo.
- Después de precalentarla pasa por un proceso de bombeo a la centrifuga a la misma temperatura 40 ° C, donde se separa la crema de la leche.
- Luego de este periodo la leche sin crema regresa al pasteurizador por placas, donde pasa a una temperatura de 85 ° C, durante un periodo de (2-10) segundos.
- Después de su pasteurización la leche, a la misma temperatura de 85 ° C, pasa por otro proceso de bombeo al homogeneizador durante un periodo de (5-15) segundos.

- Por último la leche ya pasteurizada y homogenizada vuelve al pasteurizador por placas, donde pasa por un proceso de enfriamiento a (4-6) ° C, durante un periodo de (2-6) segundos, y es distribuida para los diferentes procesos lácteos.
- La leche pasteurizada y homogenizada a temperatura de (4-6)° C, en un tanque de almacenamiento, se adiciona la enzima lactasa, de nombre beta Galactosidasa al 20 % de concentración, 4 ml por cada 100 litros de leche pasteurizada, (25-30) minutos a una temperatura de (25-30) ° C constante, esta enzima forma parte del grupo de las hidrolasas, el cual romperá el enlace que existe entre la galactosa y la glucosa, que son dos azúcares que forman la lactosa, como se mostró en la **figura 3-2** anteriormente. Al darse esta ruptura la lactosa se convertirá en dos azúcares simples, el contenido de lactosa disminuye y por ende se evita la cristalización.
- Pasada la etapa de hidrolisis, se mezclan los ingredientes solidos (azúcar, espesante CMC, Bicarbonato de Sodio, Glucosa en polvo y la leche descremada en polvo), a una temperatura de 40° C.
- Se deja en agitación constante durante (20-30) minutos a la misma temperatura, y posteriormente se lo pasa por un proceso de bombeo a la marmita.
- En este punto se hace el ingreso de vapor lentamente, el cual le da calor a la marmita doble camisa, con una agitación constante (para tener una mezcla homogénea), se empieza a presión atmosférica (1016 hPa=1,016 bares, Ciudad de Tarija-Bolivia), en la marmita la presión relativa de vapor llega a 0,60 bares de presión, con estas dos presiones se calculó la presión absoluta en la **(Ec.2-1)**, Capitulo II. y de igual manera se fue al **ANEXO 14** con el valor de la presión absoluta, donde se muestra una temperatura de concentrado del producto terminado de 110 ° C.
- En el proceso de concentrado en la marmita, se le adiciona un conservante en polvo (sorbato de potasio), y la esencia de vainilla líquida a temperaturas de (50-60) ° C, esto para que se pueda mezclar rápidamente con los demás insumos, y no se volatilice la esencia.

- El periodo de concentrado final en la marmita está entre (5,0-5,5) horas, con un ingreso de (0,55-0,60) bares de presión de vapor, hasta obtener un producto con (66-68) ° Brix.
- Se procede a enfriar el producto, hasta que alcance una temperatura de (50-55) ° C, para su envasado, haciendo el ingreso de agua a la marmita doble camisa.
- Se realiza el envasado en forma manual, y de inmediato el sellado con lámina de aluminio termosellable, y posteriormente el volcado de cada envase de dulce de leche como se muestra en la (figura 2-6), de esta forma generamos vacío dentro del envase.
- Pasado un tiempo de (10-12) horas de enfriamiento del producto a temperatura ambiente ($T=20-25$) ° C, se tapan con una sobre tapa plástica, donde va establecida su fecha de vencimiento, para luego embalar en cajas de cartón para llevarlas a cámara de almacenamiento, donde permanece a una temperatura de (20-25) ° C, y se las guarda hasta su comercialización, durante un periodo de 24-48 horas.
- Continuando, se tomó 4 muestras del producto terminado, para las pruebas experimentales correspondientes las cuales consisten en numerar cada muestra, y poner todas las características con las que se hizo, esto para llevarlas a una cámara de cuarentena donde las someteremos a temperaturas críticas de (40-50)° C, durante un periodo de 90 días, haciendo una inspección una por una cómo reaccionan cada 30 días en su formación o no de cristales de azúcares, viendo el crecimiento de sólidos solubles en un refractómetro, y también haciendo un análisis sensorial general del dulce de leche. A continuación en la figura 3-13, se muestra la toma de muestras de dulce de leche.

Figura 3-13: Muestras de dulce de leche para someterlas a temperaturas de (40-50) ° C, “Prueba D”



Fuente: Propia. (2018)

3.3. MÉTODOS Y MATERIALES

Este trabajo se realizó en la planta PIL Tarija S.A., en la marmita industrial de la empresa, así también se hizo uso del laboratorio para los análisis, empleándose leche cruda de vaca e insumos, como se detalla en la tabla II-13, Capítulo II.

El trabajo consistió en el estudio de la utilización de leche cruda en vez de pasteurizada para aprovechar las enzimas naturales.

En la segunda parte se utilizó leche pasteurizada, y se vio la concentración del producto a menor tiempo y mayor temperatura para que el concentrado no solubilice rápidamente, a la vez se modificó los parámetros de %Lactosa, % de MG.

En la tercera fase se utilizó leche Pasteurizada con la implementación de los nuevos parámetros de tiempo y temperatura, y también el agregado de glucosa en polvo casi al final del preparado de dulce de leche. Es una ayuda para que no forme cristales de azúcares, ya que la glucosa ayuda a estabilizar el rendimiento del producto, y es más soluble eso quiere decir, es más fácil de disolverse; de la misma manera se trabajó con los parámetros de %Lactosa y % de MG, iguales que la segunda parte.

Definida la formulación de parámetros tiempo, temperatura, agregado de insumos en una proporción óptima, se estudió el tenor de la enzima lactosa necesaria para el control de la cristalización de azúcares, ya que con esta enzima rompe los enlaces de la lactasa y por ende la cristalización será más lenta en el dulce de leche.

Estas pruebas experimentales fueron almacenadas en una cámara de cuarentena, donde fueron sometidas a temperaturas críticas de (40-50) ° C durante el tiempo de 3 meses. También se dejaron muestras de dulce de leche a temperatura ambiente para ver cuánto tiempo dura sin formarse cristales de azúcares.

Cada 30 días se sacó una muestra de la cámara de cuarentena para ver el crecimiento de cristales, visto en un **Refractómetro**.

También se realizó un análisis sensorial, **ANEXO 18**, del producto final donde se tomó los siguientes parámetros: sabor, color, olor, textura, calificado por 10 jueces.

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1. Resultados Visuales

Los resultados obtenidos son favorables; esto se ve primeramente en las siguientes figuras:

Figura 3-14: Alternativa “A” 90 días en cámara de cuarentena



Fuente: Propia. (2018)

Figura 3-15: Alternativa “B” 90 días en cámara de cuarentena



Fuente: Propia. (2018)

Figura 3-16: Alternativa “C” 90 días en cámara de cuarentena



Fuente: Propia. (2018)

Figura 3-17: Alternativa “D” 90 días en cámara de cuarentena



Fuente: Propia. (2018)

3.4.2. Resultados del Análisis Sensorial

Para calcular la evaluación sensorial del dulce de leche se ponderó cada parámetro evaluado como se detalla en la siguiente tabla III-15.

Tabla III-15: Ponderación de cada parámetro realizado en el análisis sensorial, para el cálculo evaluador de las muestras experimentales realizadas de dulce de leche

Parámetro	Ponderación (%)
Olor	20
Color	20
Sabor	30
Textura	30
Total	100

Fuente: Elaboración Propia (2018)

3.4.2.1. Calificaciones de los 10 jueces para la evaluación del olor del dulce de leche Optimizado

En la tabla III-16 se muestra los resultados del olor del dulce de leche, para las distintas muestras, realizado por los 10 jueces y sus promedios expresados en porcentajes.

Tabla III-16: Evaluación del olor del dulce de leche de la muestra “Ay B”

Juez	Valor Ponderado 20 %			Juez	Valor Ponderado 20 %		
	Calif.	C/9	Muestra A (ponderado)		Calif.	C/9	Muestra B (ponderado)
1	7	0,777	15,555	1	8	0,888	17,777
2	7	0,777	15,555	2	8	0,888	17,777
3	6	0,666	13,333	3	7	0,777	15,555
4	7	0,777	15,555	4	7	0,777	15,555
5	6	0,666	13,333	5	7	0,777	15,555
6	6	0,666	13,333	6	6	0,666	13,333
7	7	0,777	15,555	7	6	0,666	13,333
8	8	0,888	17,777	8	7	0,777	15,555
9	7	0,777	15,555	9	7	0,777	15,555
10	6	0,666	13,333	10	6	0,666	13,333
Promedio			14,888	Promedio			15,333

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

En la tabla III-16 se muestra el resultado de la evaluación sensorial “Olor” de las muestras experimentales “A, B” la cual demuestra a 10 jueces evaluadores, que califican el olor del dulce de leche en un ponderado de calificación del (1-9) **ANEXO 18**, la calificación de cada juez es dividida entre el número mayor de ponderación en este caso “9”, y después multiplicado por el valor ponderado en porcentaje como se muestra en la tabla III-15; (20%); luego sacar un promedio de los 10 resultados obtenidos para ver cuál dulce de leche es el de más aceptación de la gente.

A continuación en la tabla III-17, se muestra el análisis sensorial del olor de la muestra “C y D”

Tabla III-17: Evaluación del olor del dulce de leche de la muestra “C y D”

Juez	Valor Ponderado 20 %			Juez	Valor Ponderado 20 %		
	Calif.	C/9	Muestra C (ponderado)		Calif.	C/9	Muestra D (ponderado)
1	7	0,777	15,555	1	8	0,888	17,777
2	7	0,777	15,555	2	7	0,777	15,555
3	6	0,666	13,333	3	8	0,888	17,777
4	6	0,777	13,333	4	8	0,888	17,777
5	5	0,555	11,111	5	7	0,777	15,555
6	6	0,666	13,333	6	7	0,777	15,555
7	6	0,666	13,333	7	6	0,666	13,333
8	5	0,555	11,111	8	8	0,888	17,777
9	7	0,777	15,555	9	9	1	20
10	6	0,666	13,333	10	8	0,888	17,777
Promedio			13,555	Promedio			16,888

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

De igual manera se califica el “Olor” de las pruebas experimentales “C, D”, como se describió en las pruebas “A, B”.

Y se observa que entre las cuatro muestras de dulce de leche “A, B, C, D” la que tiene una mayor aceptación de la gente es la muestra “D”, según la evaluación sensorial del “Olor”.

3.4.2.2. Calificaciones de los 10 jueces para la evaluación del color del dulce de leche Optimizado

En la tabla III-18 se muestra los resultados del color del dulce de leche, para las distintas muestras, realizado por los 10 jueces y sus promedios expresados en porcentajes.

Tabla III-18: Evaluación del color del dulce de leche de la muestra “Ay B”

Juez	Valor Ponderado 20 %			Juez	Valor Ponderado 20 %		
	Calif.	C/9	Muestra A (ponderado)		Calif.	C/9	Muestra B (ponderado)
1	6	0,666	13,333	1	8	0,888	17,777
2	8	0,888	17,777	2	7	0,777	15,555
3	6	0,666	13,333	3	6	0,666	13,333
4	7	0,777	15,555	4	7	0,777	15,555
5	8	0,888	17,777	5	8	0,888	17,777
6	8	0,888	17,777	6	7	0,777	15,555
7	8	0,888	17,777	7	7	0,777	15,555
8	7	0,777	15,555	8	6	0,666	13,333
9	7	0,777	15,555	9	7	0,777	15,555
10	7	0,777	15,555	10	6	0,666	13,333
Promedio			15,999	Promedio			15,333

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

En la tabla III-18 se muestra el resultado de la evaluación sensorial “Color” de las muestras experimentales “A, B” la cual muestra a 10 jueces evaluadores, que califican el olor del dulce de leche en un ponderado de calificación del (1-9) **ANEXO 18**; la calificación de cada juez es dividida entre el número de mayor ponderación en este caso “9”, y después multiplicado por el valor ponderado en porcentaje como se muestra en la tabla III-15; (20%), y luego sacar un promedio de los 10 resultados obtenidos para ver cuál dulce de leche es de más de la aceptación de la gente.

A continuación en la tabla III-19, se muestra el análisis sensorial del color de la muestra “C y D”

Tabla III-19: Evaluación del color del dulce de leche de la muestra “C y D”

Juez	Valor Ponderado 20 %			Juez	Valor Ponderado 20 %		
	Calif.	C/9	Muestra C (ponderado)		Calif.	C/9	Muestra D (ponderado)
1	6	0,666	13,333	1	7	0,777	15,555
2	7	0,777	15,555	2	7	0,777	15,555
3	7	0,777	15,555	3	7	0,777	15,555
4	8	0,888	17,777	4	8	0,888	17,777
5	7	0,777	15,555	5	8	0,888	17,777
6	7	0,777	15,555	6	8	0,888	17,777
7	7	0,777	15,555	7	8	0,888	17,777
8	6	0,666	13,333	8	8	0,888	17,777
9	7	0,777	15,555	9	7	0,777	15,555
10	6	0,666	13,333	10	8	0,888	17,777
Promedio			15,111	Promedio			16,888

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

De igual manera se califica el “Color” de las pruebas experimentales “C, D”, como se describió en las pruebas “A, B”.

Y se observa que entre las cuatro muestras de dulce de leche “A, B, C, D” la que tiene una mayor aceptación de la gente es la muestra “D”, según la evaluación sensorial del “Color”.

3.4.2.3. Calificaciones de los 10 jueces para la evaluación del sabor del dulce de leche Optimizado

En la tabla III-20; se muestra los resultados del sabor del dulce de leche, para las distintas muestras, realizado por los 10 jueces y sus promedios expresados en porcentajes.

Tabla III-20: Evaluación del sabor del dulce de leche de la muestra “Ay B”

Juez	Valor Ponderado 30 %			Juez	Valor ponderado 30 %		
	Calif.	C/9	Muestra A (ponderado)		Calif.	C/9	Muestra B (ponderado)
1	6	0,666	19,999	1	8	0,888	26,666
2	7	0,777	23,333	2	7	0,777	23,333
3	6	0,666	19,999	3	7	0,777	23,333
4	7	0,777	23,333	4	8	0,888	26,666
5	7	0,777	23,333	5	7	0,777	23,333
6	8	0,888	26,666	6	7	0,777	23,333
7	7	0,777	23,333	7	7	0,777	23,333
8	6	0,666	19,999	8	7	0,777	23,333
9	7	0,777	23,333	9	7	0,777	23,333
10	8	0,888	26,666	10	7	0,777	23,333
Promedio			22,999	Promedio			23,999

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

En la tabla III-20 se muestra el resultado de la evaluación sensorial “Sabor” de las muestras experimentales “A, B” la cual muestra a 10 jueces evaluadores, que califican el olor del dulce de leche en un ponderado de calificación del (1-9) **ANEXO 18**; la calificación de cada juez es dividida entre el número de mayor ponderación en este caso “9”, y después multiplicado por el valor ponderado en porcentaje como se muestra en la tabla III-15; (30%), y luego sacar un promedio de los 10 resultados obtenidos para ver cuál dulce de leche es de más la aceptación de la gente.

A continuación en la tabla III-21, se muestra el análisis sensorial del sabor de la muestra “C y D”

Tabla III-21: Evaluación del sabor del dulce de leche de la muestra “C y D”

Juez	Valor Ponderado 30 %			Juez	Valor pondera 30 %		
	Calif.	C/9	Muestra C (ponderado)		Calif.	C/9	Muestra D (ponderado)
1	7	0,777	23,333	1	8	0,888	26,666
2	6	0,666	19,999	2	7	0,777	23,333
3	6	0,666	19,999	3	7	0,777	23,333
4	7	0,777	23,333	4	8	0,888	26,666
5	7	0,777	23,333	5	8	0,888	26,666
6	6	0,666	19,999	6	8	0,888	26,666
7	6	0,666	19,999	7	7	0,777	23,333
8	7	0,777	23,333	8	8	0,888	26,666
9	7	0,777	23,333	9	8	0,888	26,666
10	6	0,666	19,999	10	7	0,777	23,333
Promedio			21,666	Promedio			25,333

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

De igual manera se califica el “Sabor” de las pruebas experimentales “C, D”, como se describió en las pruebas “A, B”.

Y se observa que entre las cuatro muestras de dulce de leche “A, B, C, D” la que tiene una mayor aceptación de la gente es la muestra “D”, según la evaluación sensorial del “Sabor”.

3.4.2.4. Calificaciones de los 10 jueces para la evaluación de la textura del dulce de leche Optimizado

En la tabla III-22; se muestra los resultados de la textura del dulce de leche, para las distintas muestras, realizado por los 10 jueces y sus promedios expresados en porcentajes.

Tabla III-22: Evaluación de la textura del dulce de leche de la muestra “Ay B”

Juez	Valor Ponderado 30 %			Juez	Valor ponderado 30 %		
	Calif.	C/9	Muestra A (ponderado)		Calif.	C/9	Muestra B (ponderado)
1	6	0,666	19,999	1	8	0,888	26,666
2	7	0,777	23,333	2	7	0,777	23,333
3	7	0,777	23,333	3	7	0,777	23,333
4	6	0,666	19,999	4	8	0,888	26,666
5	7	0,777	23,333	5	6	0,666	19,999
6	7	0,777	23,333	6	6	0,666	19,999
7	7	0,777	23,333	7	7	0,777	23,333
8	7	0,777	23,333	8	7	0,777	23,333
9	6	0,666	19,999	9	6	0,666	19,999
10	7	0,777	23,333	10	7	0,777	23,333
Promedio			22,333	Promedio			22,999

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

En la tabla III-22 se muestra el resultado de la evaluación sensorial “Textura” de las muestras experimentales “A, B” la cual muestra a 10 jueces evaluadores, que califican el olor del dulce de leche en un ponderado de calificación del (1-9) **ANEXO 18**; la calificación de cada juez es dividida entre el número de mayor ponderación en este caso “9”, y después multiplicado por el valor ponderado en porcentaje como se muestra en la tabla III-15; (30%), y luego sacar un promedio de los 10 resultados obtenidos para ver cuál dulce de leche es de más la aceptación de la gente.

A continuación en la tabla III-23, se muestra el análisis sensorial de la textura de la muestra “C y D”

Tabla III-23: Evaluación de la textura del dulce de leche de la muestra “C y D”

Juez	Valor Ponderado 30 %			Juez	Valor ponderado 30 %		
	Calif.	C/9	Muestra C (ponderado)		Calif.	C/9	Muestra D (ponderado)
1	7	0,777	23,333	1	8	0,888	26,666
2	6	0,666	19,999	2	7	0,777	23,333
3	7	0,777	23,333	3	7	0,777	23,333
4	7	0,777	23,333	4	8	0,888	26,666
5	6	0,666	19,999	5	7	0,777	23,333
6	6	0,666	19,999	6	8	0,888	26,666
7	7	0,777	23,333	7	8	0,888	26,666
8	7	0,777	23,333	8	8	0,888	26,666
9	6	0,666	19,999	9	8	0,888	26,666
10	7	0,777	23,333	10	7	0,777	23,333
Promedio			21,999	Promedio			25,333

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

De igual manera se califica la “Textura” de las pruebas experimentales “C, D”, como se describió en las pruebas “A, B”.

Y se observa que entre las cuatro muestras de dulce de leche “A, B, C, D” la que tiene una mayor aceptación de la gente es la muestra “D”, según la evaluación sensorial de la “Textura”.

En un resultado final, las 10 personas calificadoras, eligen al dulce de leche con mejor sabor, olor, color y textura, que vendría a ser la muestra “D”

A continuación en la Tabla III-24, se muestra el resumen de los resultados del análisis sensorial realizado en las muestras de dulce de leche experimentales.

Tabla III-24: Resumen de los resultados sensoriales realizados a las muestras de Dulce de leche Experimentales

Muestra	Valor Promedio			
	10 Jueces Calificadores			
	Olor	Color	Sabor	Textura
A	14,888	15,999	22,999	22,333
B	15,333	15,333	23,999	22,999
C	13,555	15,111	21,666	21,999
D	16,888	16,888	25,333	25,333

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

3.4.3. Resultados del crecimiento de sólidos solubles en las pruebas experimentales (A, B, C, D) del dulce de leche expuestas a temperaturas críticas en la cámara de cuarentena en la planta PIL Tarija (40-50) ° C y también a temperatura ambiente (20-25) ° C

En la siguiente tabla III-25, se muestra el crecimiento de sólidos solubles (°Brix) medidos cada 30 días, de la cámara de cuarentena y de las muestras que se encuentran a temperatura ambiente.

Tabla III-25: Resultados del crecimiento de sólidos solubles de las pruebas experimentales en PIL Tarija S.A.

Pruebas Experimentales	CÁMARA DE CUARENTENA T=(40-50) ° C				TEMPERATURA AMBIENTE T=(20-25) ° C		
	° Brix iniciales	° Brix día 30	° Brix día 60	° Brix día 90	° Brix día 30	° Brix día 60	° Brix día 90
A	66	68	71	75	67	69	71
B	66	68	72	74	67	70	72
C	66	69	71	73	68	69	71
D	66	68	71	72	66	67	69

Fuente: Elaboración Propia (2018)

La tabla III-25, refleja el crecimiento de sólidos solubles en los dulces de leche expuestos a temperatura crítica y otras a temperatura ambiente. Por tanto, el menor crecimiento de sólidos solubles tanto en cámara de cuarentena y a temperatura ambiente es la prueba experimental “D”; este crecimiento de sólidos solubles se midió en el Refractómetro de la planta PIL Tarija S.A.

3.5. SELECCIÓN

Al hacer todas las pruebas experimentales propuestas, se llegó a la conclusión de que cada prueba tiene su ventaja y desventaja como se detalla en las siguientes tablas.

Tabla III-26: Ventajas y Desventajas de la alternativa “A”

Ventajas
Aprovechamiento de las enzimas naturales de la leche cruda para que no se formen cristales de azúcares
Mejor, brillo, textura , sabor, olor del dulce de leche
No se hacen gastos adicionales en su elaboración.
Vida útil de consumo establecido de 3 meses sin cristales de azúcares.
Desventajas
Mayor tiempo de concentrado final del dulce de leche

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla III-27: Ventajas y Desventajas de la alternativa “B”

Ventajas
Mejor color, aroma y sabor del dulce de leche
Mejor adición de insumos de acuerdo al protocolo de dulce de leche
Mayor tiempo de vida de consumo del producto 4 meses, sin cristalización de azúcares.
Desventajas
Poco brillo del dulce de leche y una textura no muy bien definida

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla III-28: Ventajas y Desventajas de la alternativa “C”

Ventajas
Mejor color, brillo, aroma
Mejor adición de insumos de acuerdo al protocolo de dulce de leche
Mayor tiempo de vida útil, 4 meses y 30 días, sin cristales de azúcares
Desventajas
Menor consistencia y textura del producto terminado

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla III-29: Ventajas y Desventajas de la alternativa “D”

Ventajas
Mejor sabor, color, aroma y consistencia y textura del dulce de leche
Mayor tiempo de vida útil del producto, sin cristales de azúcares (5 meses).
Desventajas
Gasto en la compra de la enzima

Fuente: Elaboración Propia (2018)

3.5.1. Conclusiones de la selección de alternativa de solución al proceso de optimización de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

Comparando estas tablas de ventajas y desventajas de alternativas de solución al problema de cristalización de azúcares y parámetros como textura, consistencia, color aroma y sabor del dulce de leche realizadas con el análisis sensorial, y también con el crecimiento de sólidos solubles a temperaturas críticas, se llega a la conclusión que con el proceso con la adición de enzima Lactosa (Beta Galactosidasa), y una nueva formulación de parámetros de operación (Temperatura, Tiempo) esto basado en las pruebas experimentales realizadas en la planta PIL Tarija S.A, certificado en el **ANEXO 19** y con la ayuda de las bibliografías literarias encontradas en la sección (3.3.1).

Se toma una nueva vida útil de consumo del dulce de leche en la planta PIL Tarija de 5 meses, con este aporte se mejorará la vida actual que tiene el dulce de leche procesado en la planta de 3 meses.

3.6. DEFINICIÓN DE CONDICIONES Y CAPACIDAD DE TRABAJO

3.6.1. Condiciones de operación de control de elaboración de dulce de leche en la planta PIL Tarija S.A.

A continuación en la tabla III-30, se muestra todas las condiciones para elaborar dulce de leche que se sigue en la planta PIL Tarija

Tabla III-30: Condiciones de trabajo para la elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

Parámetro	Valor Numérico	Unidad	Cantidad de materia prima utilizada en cada proceso (L)
Temperatura de concentrado final	110	° C	400
Temperatura de envasado y enfriado	75	° C	400
Tiempo de concentrado final	5-0-5.5	h	400
Presión absoluta	1,616	Bar	400

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

Con estos datos técnicos obtenidos en la elaboración de dulce de leche en el proceso actual en la planta PIL Tarija S.A, se estima nuevas condiciones de trabajo, sin salirse mucho del rango lineal que lleva la empresa PIL Tarija.

A continuación se muestra en la tabla III- 31, las nuevas condiciones de trabajo que se emplearon en las diferentes pruebas experimentales realizadas para solucionar el problema de cristalización de azúcares en la planta PIL Tarija S.A.

Tabla III-31: Nuevas Condiciones de trabajo para la optimización en la elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

Parámetro	Valor Numérico	Unidad	Cantidad de materia prima (L)
Temperatura de concentrado final	125	° C	400
Temperatura de envasado	50-55	° C	400
Tiempo de concentrado final	4-4,5	h	400
Presión Absoluta	1,866	Bar	400

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

Con estas nuevas condiciones de trabajo en la Planta PIL Tarija, se podrá optimizar el dulce de leche para que no forme cristales de azúcares, con la ayuda también de la enzima lactasa, en el proceso de elaboración.

3.7. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PARA LA ELABORACIÓN DE DULCE DE LECHE EN PIL TARIJA S.A.

Una vez que se ha definido el proceso para elaborar el dulce de leche, son necesarios los equipos, máquinas y accesorios que se necesitarán para llevar a cabo la instalación del proceso.

3.7.1. Agitador ancla

Consiste en una paleta contornada de manera que se adapte perfectamente a la forma del recipiente lo cual da la apariencia de ancla o herradura. Su característica principal es que trabaja a muy poca velocidad cuando se requiere un bajo nivel de turbulencia en un fluido viscoso; sus características se detallan en el capítulo IV.

Figura 3-18: Agitador ancla PIL Tarija S.A.



Fuente: Propia. (2018)

3.7.2. Homogeneizador

Es el proceso mediante el cual se fraccionan los glóbulos de grasa de la leche para una distribución más uniforme, evitando una separación de grasa en el producto final.

Este dispositivo resulta ideal para productos de alta y baja viscosidad, con una capacidad de 5000 litros diarios; sus características se detallan en el capítulo IV.

Figura 3-19: Homogeneizador de PIL Tarija S.A.



Fuente: Propia. (2018)

3.7.3. Pasteurizador por placas

Este tratamiento térmico consiste en elevar la temperatura en un rango de 80-85 ° C, durante un tiempo de 20-30 minutos con el fin de eliminar los microorganismos patógenos de la leche de vaca; en los casos en los que sea necesario se debe proporcionar al equipo agua Glicolada para el enfriamiento, así como agua caliente o vapor industrial a 3 bar; sus características se detallan en el capítulo IV.

Figura 3-20: Pasteurizador por Placas de PIL Tarija S.A.



Fuente: Propia. (2018)

3.7.4. Tanque de agitación

Se emplea para el mezclado de los insumos y materia prima, conservante.

Este tanque está fabricado de acero inoxidable, se utiliza para el precalentamiento, para el pre-enfriado, donde la leche y sus aditivos pasan a una temperatura de 40 ° C durante un tiempo de agitación de 35 min óptimos; sus características se detallan en el capítulo IV.

Figura 3-21: Tanque de agitación de PIL Tarija S.A



Fuente: Propia. (2018)

3.7.5. Marmita o Paila

Es una olla de metal cubierta con una tapa que queda totalmente ajustada, su presión es atmosférica consta de un barómetro y recubierta de camisa doble por donde pasa y entra vapor y también puede entrar agua fría para el pre- enfriamiento del dulce de leche, consta de un agitador ancla, su material es de acero inoxidable con una capacidad de 1000 litros netos; sus características se detallan en el capítulo IV.

Figura 3-22: Marmita o Paila de PIL Tarija S.A



Fuente: Propia. (2018)

A continuación en la tabla III-32 se describe de manera general los equipos secundarios para la elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

**Tabla III-32: Equipos y materiales para la elaboración de dulce leche en PIL
Tarija S.A.**

Equipos y Materiales	Figura	Descripción
Selladora		Se utiliza para sellar los vasos con lámina de aluminio en forma eléctrica
Refractómetro		Este aparato es utilizado para determinar el porcentaje de sólidos solubles en una disolución líquida
Termómetro		Este instrumento sirve para el control de la temperatura cada instante en el proceso de concentrado del dulce de leche.

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

CAPÍTULO IV

ESPECIFICACIONES DE LOS

PARÁMETROS DE LOS EQUIPOS DE

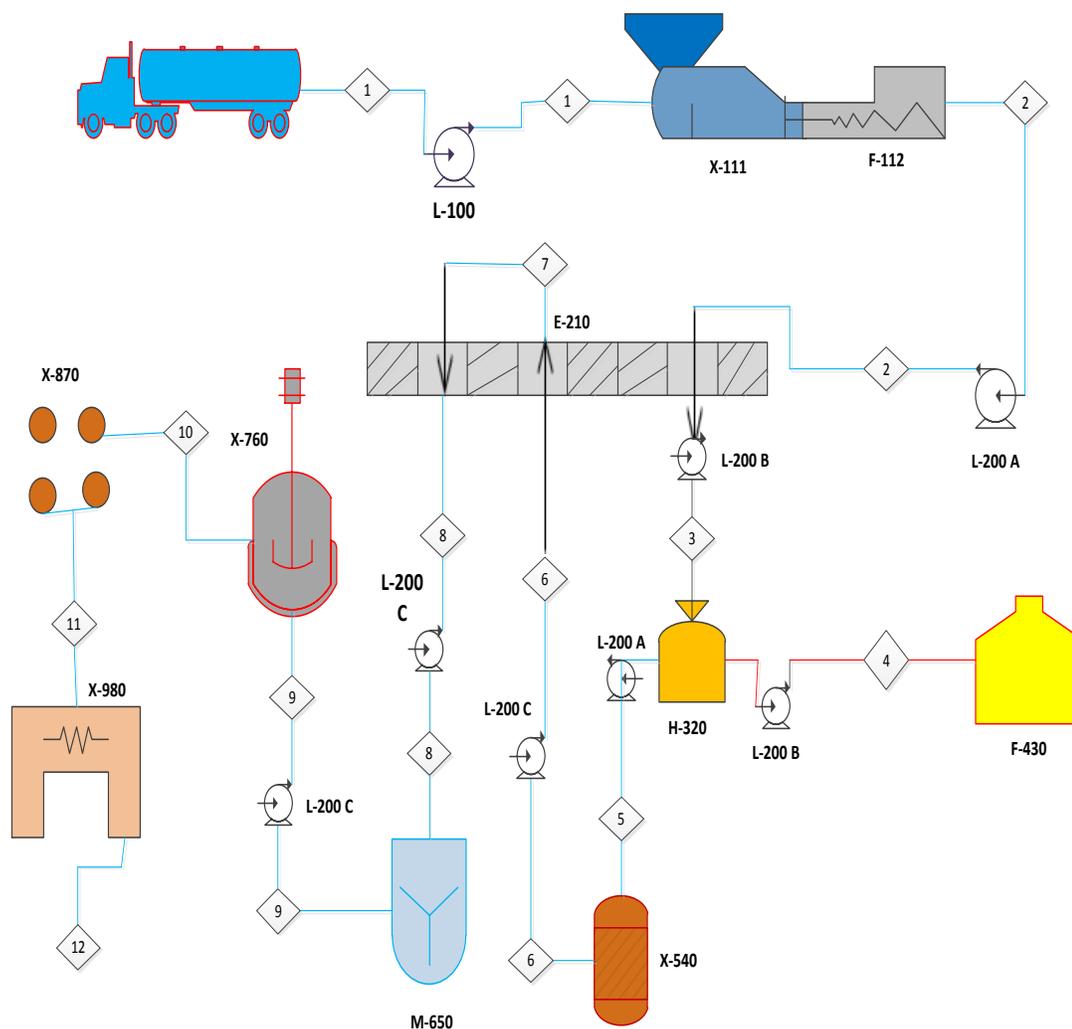
ELABORACIÓN DE DULCE DE LECHE EN

PIL TARIJA S.A.

4.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OPTIMIZADO DE DULCE DE LECHE EN LA PLANTA PIL TARIJA S.A.

En el siguiente diagrama de flujo, se especifica el proceso optimizado del dulce de leche para que no se forme cristales de azúcares, esto bajo pruebas experimentales realizadas y también con la ayuda de la NB-445-81 de elaboración de dulce de leche, y protocolos de calidad.

Figura 4-1: Diagrama de Flujo del proceso optimizado



Fuente: Elaboración Propia (2018). Consultando Ulrich, G. (1993)

En la siguiente tabla IV-1, se muestra los nombres de los equipos.

Tabla IV-1: Descripción de los Equipos

Código	Nombre del Equipo	Código	Nombre del Equipo
X-111	Balanza de pesado de la leche cruda (recepción en la planta)	X-540	Homogeneizador de la leche precalentada y descremada
F-112	Tina de recepción de la leche cruda	X-760	Marmita o paila de concentrado de la leche pasteurizado con insumos
E-210	Pasteurizador a Placas y enfriador	X-870	Sala de envasado del producto terminado
H-320	Centrífuga (descremado de la leche cruda precalentada)	X-980	Cámara de almacenado del producto terminado
F-430	Tanque de almacenamiento de la crema	L-200 A/B/C	Bomba centrífuga para la leche cruda
M-650	Tanque con agitador Ancla para (insumos y leche pasteurizada)	L-100	Bomba centrífuga para la leche cruda

Fuente: Elaboración Propia (2018). Consultando Ulrich, G. (1993)

Estos equipos a medida que va avanzando el capítulo se los describe con sus especificaciones respectivas. En la tabla IV-2, se presenta las condiciones de las corrientes de flujo indicadas en el diagrama.

Tabla IV-2: Descripción de las Condiciones de los Flujos

N ° de Flujo 	Flujo	Temperatura (° C)
1	Leche cruda recién descargada del cisterna recolector	15-18
2	Leche cruda recibida y destinada al proceso de dulce de leche	15-18
3	Leche cruda precalentada	40
4	Crema de la leche	40
5	Leche fluida sin crema	40
6	Leche homogenizada	85
7	Leche Pasteurizada	85
8	Leche Pasteurizada enfriada	4-6
9	Mezcla de leche Pasteurizada con insumos	40
10	Producto terminado, listo para su envasado	50-55
11	Cámara de almacenado	20-25
12	Distribución al mercado	20-25

Fuente: Elaboración Propia (2018). Consultando Ulrich, G. (1993)

4.2. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA DEL PROCESO OPTIMIZADO

4.2.1. Balance de Materia

En el balance global de materia se analiza un día de producción de dulce de leche, tomando como base de flujo 400 L/d de leche fresca para un proceso de elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

En este balance se tomará en cuenta la siguiente ecuación:

$$\text{Entrada de materia prima e insumos} = \text{Salida de producto} \quad (\text{Ec.4-1})$$

4.2.1.1. Balance de Materia en el proceso de mezclado

Las cantidades de adición de insumos y materia prima se refleja en la Tabla IV-3, a continuación se calculó la masa de leche fresca en kilogramos.

➤ $\rho = 1,029 \text{ gr/ml} = 1029 \text{ kg/L}$, densidad de leche fresca

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Ec.4-2})$$

Con esta (Ec.4-2) despejamos la m , para obtener la masa de la leche fresca utilizada en la elaboración de dulce de leche en PIL Tarija

$$\begin{aligned} m &= \rho * V \\ m &= 1029 \text{ kg/L} * 400\text{L} \\ m &= 412 \text{ kg} \end{aligned}$$

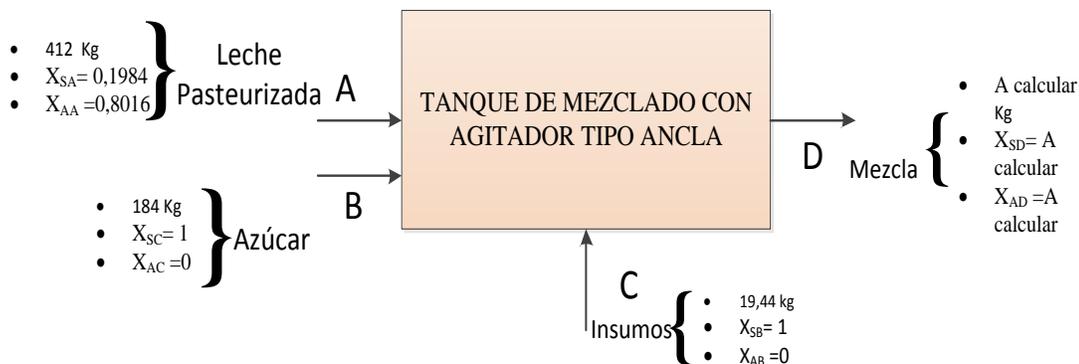
Tabla IV-3: Cantidades de materia prima, insumos para la elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

Ingrediente	Cantidad	Unidad	Característica	Cantidad de cada Flujo
Leche fresca	400	L	Materia Prima	400
Azúcar	184	Kg		184
Espesante	0,12	Kg	Insumos	19,44
Maicena	6	Kg		
Bicarbonato de Sodio	0,6	Kg		
Sorbato de Potasio	0,72	Kg		
Glucosa en Polvo	12	Kg		

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

- Datos

- %Sólidos de leche Fresca en PIL Tarija = 19,84 ; $X_S = 0,1984$: Tabla II-3
 - % Agua de leche Fresca en PIL Tarija = 80,16 ; $X_A = 0,8016$: Tabla II-3
 - %Sólidos de los Insumos utilizados $X_{SB} = 1$; PIL Tarija S.A.
 - %Sólidos del azúcar $X_{SC} = 1$; PIL Tarija S.A.
 - %Sólidos de la mezcla $X_{SD} = A$ calcular
 - % Agua de la mezcla $X_{AD} = A$ calcular
 - Cantidad de mezcla en el Tanque mezclador con agitador tipo ancla $D = A$ calcular
- Estos datos se reflejan en el siguiente diagrama de flujo planteado en el mezclador.



- **Balance Global**

$$A+B+C = D \quad (\text{Ec.4-3})$$

De esta (Ec.4-3), obtenemos el flujo "D", cantidad de la mezcla.

$$D = 412 \text{ kg} + 19,44 \text{ kg} + 184 \text{ kg}$$

$$D = 615,44 \text{ kg}$$

- **Balance Parcial de sólidos de cada Flujo**

$$A \cdot X_{SA} + B \cdot X_{SB} + C \cdot X_{SC} = D \cdot X_{SD} \quad (\text{Ec.4-4})$$

De esta (Ec.4-4), despejamos X_{SD} que son los sólidos de la mezcla

$$X_{SD} = \frac{A \cdot X_{SA} + B \cdot X_{SB} + C \cdot X_{SC}}{D}$$

$$X_{SD} = \frac{412 \text{ kg} \cdot 0,1984 + 184 \text{ kg} \cdot 1 + 19,44 \text{ kg} \cdot 1}{615,44 \text{ kg}}$$

$$X_{SD} = 0,463 * 100 = 46,3 \%$$

Con este valor de X_{SD} , encontramos el valor de X_{AD} que es la cantidad de agua que queda en la mezcla, con la siguiente (Ec.4-5).

$$X_{AD} = 1 - X_{SD} \quad (\text{Ec.4-5})$$

$$X_{AD} = 1 - 0,463$$

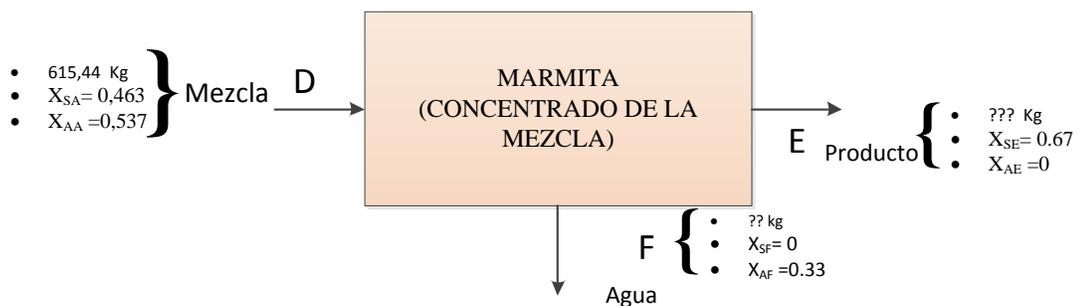
$$X_{AD} = 0,537 = 53,7 \%$$

4.2.1.2. Balance de Materia en el proceso de Concentrado “Marmita”

El balance de masa que se hace en la marmita se basa en la entrada de la mezcla que sale del mezclador con agitador tipo ancla, la evaporación del agua que sale por la chimenea de la marmita, y por ende el producto terminado de dulce de leche. Estos parámetros se detallan en el siguiente diagrama de flujo con sus respectivos datos adicionales.

- Datos

- ° Brix = 67 % ; en PIL Tarija S.A. esto equivale a los sólidos del producto terminado, y en fracción es igual a $X_{SE} = 0,67$
- La fracción de agua saliente de la marmita vendría a ser la diferencia del $100\% - 67\% = 33\% = X_{AE} = 0,33$



- Balance Global

$$D = E + F \quad (\text{Ec.4-6})$$

Despejamos de la (Ec.4-6), el flujo de salida del producto “E”:

$$E = \frac{D}{F} \quad (\text{Ec.4-7})$$

Con esta (Ec.4-7) se lo desglosa en un balance parcial de sólidos, como se muestra a continuación.

- **Balance Parcial de sólidos de cada Flujo**

$$D.X_{SD} + F.X_{SF} = E.X_{SE} \quad (\text{Ec.4-8})$$

$$E = \frac{D.X_{SD}}{X_{SE}} \quad (\text{Ec.4-9})$$

$$E = \frac{615,44\text{kg} \cdot 0,463}{0,67}$$

$$E = 425 \text{ kg}$$

Al obtener el flujo “E”, que es la cantidad del producto terminado de dulce de leche que sale de la marmita, podemos calcular la cantidad de agua que se evapora flujo “F”, despejando de la (Ec.4-6), a continuación.

$$F = D - E \quad (\text{Ec.4-10})$$

$$F = 615,44 \text{ kg} - 425\text{kg}$$

$$F = 190,44 \text{ kg}$$

Nota: Las mermas en este balance de masa son pequeñas, ya que no queda casi nada en la marmita del producto, por un buen envasado, se estima un 2 %.

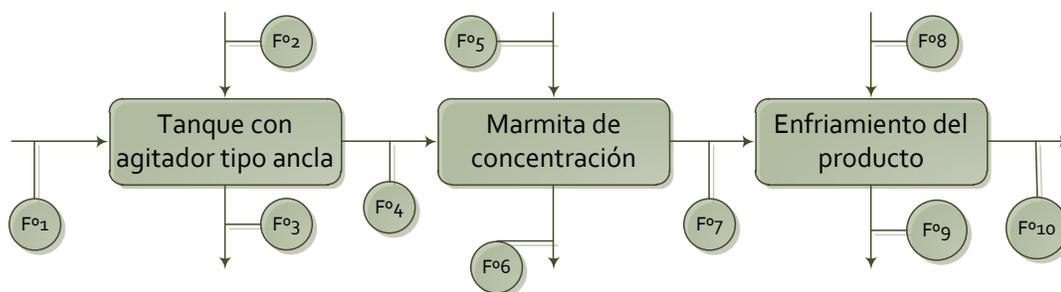
4.2.2. Balance de Energía del proceso optimizado

Para este balance de energía se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}} \quad (\text{Ec.4-11})$$

4.2.2.1. Diagrama de flujo general de los equipos donde se realizó los balances de energía

En este balance de energía se toma dos puntos: el tanque de agitación y la marmita de concentración de producto y enfriamiento como se detalla a continuación:



Dónde:

F°_1 = Flujo de leche pasteurizada que entra al Tanque de agitación ($T_1=4^{\circ}\text{C}$ Óptima)
PIL Tarija, (2018)

F°_2 = Flujo de vapor de agua que ingresa al tanque con agitador ancla

F°_3 = Flujo de agua caliente que sale del tanque con agitador ancla

F°_4 = Flujo de leche pasteurizada pre calentada con formulación de insumos
($T_4 = 40^{\circ}\text{C}$), dato obtenido del proceso de PIL Tarija S.A. (2018)

F°_5 = Flujo de vapor que entra a la marmita doble camisa

F°_6 = Flujo de agua caliente que sale de la marmita

F°_7 = Flujo de Temperatura del producto de dulce de leche que está a $T_7 = 110^{\circ}\text{C}$,
PIL Tarija S.A. (2018)

F°_8 = Flujo de agua ($T_8 = 25^{\circ}\text{C}$) que entra a la marmita PIL Tarija S.A. (2018)

F°_9 = Flujo de agua caliente ($T_9 = 55^{\circ}\text{C}$), que sale de la marmita PIL Tarija S.A.
(2018)

F°_{10} = Flujo de temperatura de enfriado del producto de dulce de leche que está a $T_{10} = 55^{\circ} \text{C}$, PIL Tarija S.A. (2018)

Q_P = Mermas

4.2.2.2. Balances de energía en cada equipo del proceso optimizado

4.2.2.2.1. Balance de energía en el Tanque de Agitación



El calor F°_2 es un calor latente (cede calor), y también se sabe que por F°_3 sale agua, vendría a ser el calor sensible (gana calor), F°_1 y F°_4 es la leche que entra con formulación de insumos y sale precalentada y mezclada.

A continuación como se detalla en la ecuación (4-14), se desglosa en calor latente y calor sensible:

$$\text{Calor latente: } m_w * \lambda_w \quad (\text{Ec.4-12})$$

$$\text{Calor sensible: } m_F * C_{pF} * \Delta T \quad (\text{Ec.4-13})$$

Se iguala las (Ec.4-7) y (Ec.4-8) y queda de la siguiente manera:

$$m_w * \lambda_w = m_F * C_{pF} * \Delta T \quad (\text{Ec.4-14})$$

Datos:

- $m_w = ?$ (masa del vapor generado)

- $\lambda_W = 540 \text{ cal /g a } 100^\circ \text{ C} = 2250 \text{ KJ/kg}$ (coeficiente de evaporación), dato obtenido de (Alvarado, 2013, p. 17)
- $m_F = 400 \text{ L/d} = 412 \text{ kg}$ (masa de entrada de leche pasteurizada), dato obtenido de PIL Tarija S.A. (2018)
- $C_{pF} = 3,89 \text{ KJ/kg}^\circ \text{ K}$ (Calor específico de la leche de vaca), dato obtenido de (Alvarado, 2013, p. 17)
- $\Delta T = T_4 - T_1 = (40-4)^\circ \text{ C} = 36^\circ \text{C} + 273 = 309^\circ \text{ K}$ (Diferencia de temperatura de la leche entre la entrada y salida del tanque agitador) PIL Tarija S.A. (2018)

Con todos estos datos se despeja de la (Ec.4-15) la m_W para calcular:

$$m_W = \frac{m_F * C_{pF} * \Delta T}{\lambda_W} \quad (\text{Ec.4-15})$$

$$m_W = \frac{412 \text{ kg} * 3,89 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^\circ \text{K}} * 309^\circ \text{K}}{2250 \text{ KJ/kg}}$$

$$m_W = 220,10 \text{ kg}$$

Esta masa de agua de salida del tanque de agitación precalentado, se iguala en la (Ec.4-14) para ver si hay pérdidas de calor en el tanque de agitación:

$$220,10 \text{ kg} * 2250 \text{ KJ/kg} = 412 \text{ kg} * 3,89 \text{ KJ/kg}^\circ \text{K} * 309^\circ \text{K}$$

$$495225 \text{ KJ} = 495228,12 \text{ KJ}$$

Como se ve, la igualdad no coincide, eso significa que hay una **merma** de calor mínima que se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_P = Q_W - Q_F \quad (\text{Ec.4-16})$$

Dónde:

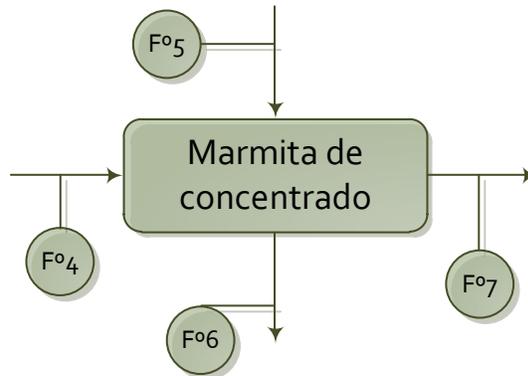
- Q_W = calor mayor de los dos calores encontrados
- Q_F = calor menor de los dos calores encontrados
- Q_P = calor que se pierde en el proceso (mermas)

Respectivamente se calcula el Q_P en la (Ec.4-11)

$$Q_P = 495228,12 \text{ KJ} - 495225 \text{ KJ}$$

$$Q_P = 3,12 \text{ KJ}$$

4.2.2.2.2. Balance de energía en la marmita de concentrado



En este caso es el mismo que en el tanque de agitación porque entra vapor por F°_5 (calor latente), y sale agua caliente extraída del producto por F°_6 (calor sensible), ya que la marmita es doble camisa, mientras tanto F°_4 (entra la mezcla) y F°_7 (sale el producto caliente). Con todas estas aclaraciones se plantea los datos que tenemos y los que son incógnita.

Datos:

- $m_W = ?$ (masa del vapor generado)
- $\lambda_W = 540 \text{ cal /g a } 100 \text{ } ^\circ \text{C} = 2250 \text{ KJ/kg}$ (coeficiente de evaporación), , dato obtenido de Alvarado, 2013 , p.17)
- $m_F = 321,9 \text{ kg}$ de producto obtenido de dulce de leche caliente ($T_7 = 95 \text{ } ^\circ \text{C}$), PIL Tarija S.A. (2018)
- $C_{pF} = 1068,42 \text{ KJ/kg } ^\circ \text{C}$ (capacidad calorífica del dulce de leche dato sacado de (Alvarado, 2013, p. 180)
- $\Delta T = T_7 - T_4 = (110-40)^\circ \text{C} = 70^\circ \text{C}$ (Diferencia de temperatura), PIL Tarija S.A. (2018)

Con todos estos datos se trabaja en la (Ec.4-11)

$$m_W = \frac{m_F * C_{pF} * \Delta T}{\lambda_W}$$

$$m_W = \frac{321,9 \text{ kg} * 1068,42 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot \text{C}} * 70 \text{ } ^\circ\text{C}}{2250 \text{ KJ/kg}}$$

$$m_W = 10709,88 \text{ kg}$$

Esta masa de agua encontrada se iguala en la (Ec.4-9) para ver si hay pérdidas de calor en la marmita de concentrado:

$$10709,88 \text{ kg} * 2250 \text{ KJ/kg} = 321,9 \text{ kg} * 1068,42 \text{ KJ/kg} \cdot \text{C} * 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

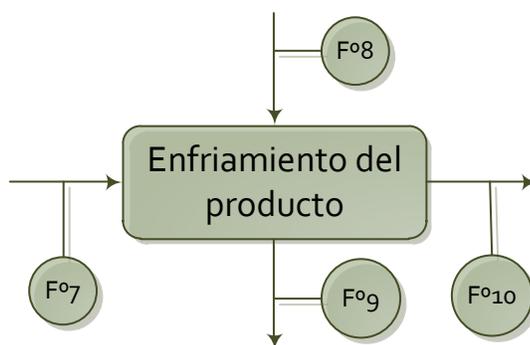
$$24097230 \text{ KJ} = 24074707 \text{ KJ}$$

Respectivamente se calcula la merma (Q_P), como se especifica en la (Ec.4-16)

$$Q_P = 24097230 \text{ KJ} - 24074707 \text{ KJ}$$

$$Q_P = 22523 \text{ KJ}$$

4.2.2.2.3. Balance de energía en el enfriamiento de la marmita



En este enfriamiento de la marmita solo existe calor sensible, porque solo se agrega agua a temperatura ambiente, por lo tanto se hace el respectivo balance de energía para ver el calor perdido en dicho proceso.

Primeramente se trabaja con la (Ec.4-11):

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

$$1) m_{F^{\circ}7} * C_{PF7} * \Delta T_1 = 2) m_{F^{\circ}10} * C_{PF^{\circ}10} * \Delta T_2 \quad (\text{Ec.4-17})$$

Datos:

1)

- $m_{F^{\circ}7} = 321,9 \text{ kg}$ (masa del producto optimizado de dulce de leche a $T_7=55^{\circ}\text{C}$;) dato de PIL Tarija S.A. (2018)
- $C_{PF7} = 1068.42 \text{ KJ/kg } ^{\circ}\text{C}$ (capacidad calorífica del dulce de leche dato sacado de (Alvarado, 2013, p. 180)
- $\Delta T_1 = F^{\circ}_7 - F^{\circ}_{10} = (110-55)^{\circ}\text{C} = 55^{\circ}\text{C}$; dato de PIL Tarija S.A. (2018)

2)

- $m_{F^{\circ}7} = 321,9 \text{ kg}$ (masa del producto optimizado de dulce de leche a $T_{10}=55^{\circ}\text{C}$; F°_{10})
- $C_{PF10} = 1068.42 \text{ KJ/kg } ^{\circ}\text{C}$ capacidad calorífica del dulce de leche dato sacado de (Alvarado, 2013, p. 180)
- $\Delta T_2 = T_9 - T_8$; Datos obtenidos de PIL Tarija S.A. (2018); $(55-25)^{\circ}\text{C} = 30^{\circ}\text{C}$

Con todos estos datos se iguala la (Ec.4-9) como se ve a continuación:

$$321,9 \text{ kg} * 1068.42 \text{ KJ/kg } ^{\circ}\text{C} * 55^{\circ}\text{C} = 321,9 \text{ kg} * 1068.42 \text{ KJ/kg } ^{\circ}\text{C} * 30^{\circ}\text{C}$$

$$18915841,89 \text{ KJ} = 10317731,94 \text{ KJ}$$

Con esta expresión numérica encontrada se observa que no es igual, entonces existe una merma de calor (Q_p) la cual se calcula con la (Ec.4-16).

$$Q_p = 18915841,89 \text{ KJ} - 10317731,94 \text{ KJ}$$

$Q_p = 8598109,95 \text{ KJ}$

4.3. ESPECIFICACIONES DE CADA EQUIPO DEL PROCESO OPTIMIZADO

4.3.1. Balanza de pesado y tina de recepción de leche cruda

A continuación se detalla el control que se hace en la recepción de la leche fresca en PIL Tarija S.A. como se muestra en la Tabla IV-4.

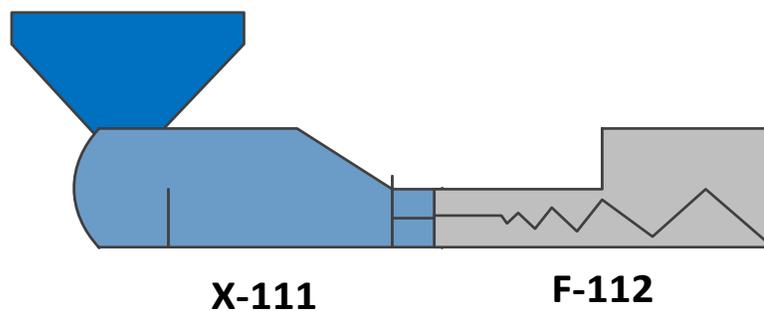


Figura 4-2: Balanza de pesado y tina de recepción de la leche fresca en PIL Tarija S.A.



Fuente: Propia. (2018)

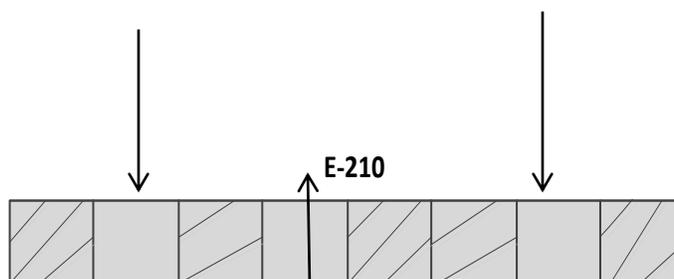
Tabla IV-4: Control de la leche cruda

Parámetro	Valor óptimo	Unidad
Densidad	1,029	gr/ml
Acidez	13	° D
Temperatura	8-10	° C
Sólidos no grasos	8-10	%
pH	6,7	-

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

4.3.2. Pasteurizador de Placas

A continuación se detalla el control que se hace en el pasteurizador por placas en PIL Tarija S.A. como se muestra en la Tabla IV-5; el pasteurizador por placas de la planta se mostró en la figura 3-18, Capítulo III.

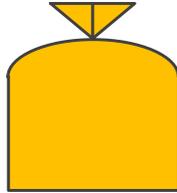
**Tabla IV-5: Control del Pasteurizador de Placas**

Fases	Valor óptimo	Unidad
Fase 1 (precalentamiento)	40	° C
Fase 2 (pasteurizado)	85	° C
Fase 3 (enfriado)	4-6	° C

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

4.3.3. Centrifuga (descremado de la leche precalentada)

A continuación se detalla el control que se hace en la centrifuga en PIL Tarija S.A. como se muestra en la Tabla IV-6.



H-320

Figura 4-3: Centrifuga de PIL Tarija S.A.



Fuente: Propia. (2018)

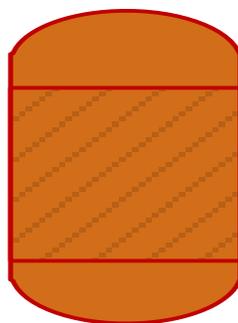
Tabla IV-6: Control de la leche descremada saliendo de la centrífuga

Parámetro	Valor actual	Valor óptimo	Unidad
Materia grasa	3,5	3	%
Lactosa	5	4,5	%
Temperatura	45	40	° C

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

4.3.4. Homogenización de la leche descremada (pre calentado)

A continuación se detalla el control que se hace en el Homogeneizador en PIL Tarija S.A. como se muestra en la Tabla IV-7; el Homogeneizador de la planta se mostró en la figura 3-17, Capítulo III.



X-540

Tabla IV-7: Control de la homogenización de la leche descremada (pre calentado)

Parámetro	Valor óptimo	Unidad
Tiempo	15-20	min
Presión	60-200	kg/cm ²
Temperatura	75	° C

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

4.3.5. Tanque de Mezcla con agitador ancla (insumos y materia prima)

A continuación se detalla el control que se hace en el Tanque de Mezcla con agitador ancla en PIL Tarija S.A. como se muestra en la Tabla IV-8, el Tanque de Mezcla con agitador ancla de la planta se mostró en la figuras 3-16; 3-19 Capítulo III.



M-650

Tabla IV-8: Control del Mezclador de insumos y leche pasteurizada

Parámetro	Valor óptimo	Unidad
Tiempo	35-40	min
Presión	60-200	kg/cm ²
Temperatura	35-40	° C

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

4.3.6. Marmita de Concentrado

A continuación se detalla el control que se hace en la Marmita de PIL Tarija S.A. como se muestra en la Tabla IV-9; la Marmita de la planta se mostró en la figura 3-20, Capítulo III.

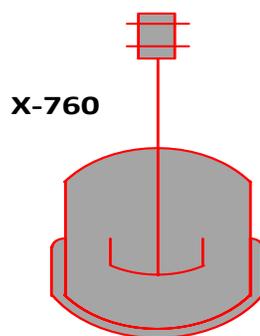


Tabla IV-9: Control de la Marmita de concentrado y enfriado del dulce de leche

Parámetro	Valor actual	Valor óptimo	Unidad
Tiempo final de concentrado	5,0-5,5	4,0-4,5	h
Presión Absoluta	1,616	1,866	bar
Temperatura final de concentrado	110	125	° C
Temperatura de enfriado	65	55	° C
Grados Brix	65-68	67	° Brix

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

4.3.7. Cámara de Almacenamiento

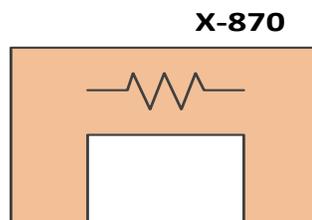


Figura 4-4: Cámara de almacenamiento de PIL Tarija S.A.



Fuente: Propia. (2018)

Tabla IV-10: Control del Almacenamiento refrigerado del dulce de leche

Parámetro	Valor óptimo	Unidad
Temperatura	20-25	° C
Tiempo	24-48	h

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

4.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO OPTIMIZADO

En este punto se realiza la caracterización de cada equipo en el proceso de elaboración de dulce de leche en la planta PIL Tarija; (datos proporciones por el Dpto. de producción).

4.4.1. Bombas centrífugas

Se detalla en la siguiente tabla IV-11, sus características generales.

Tabla IV-11: Características de las bombas Centrífugas

Denominación	Cantidad	Modelo	RPM	Caudal para operación	Potencia del motor
Bomba A	3	4SH-A	1750	12,38 m ³ /h	1 HP
Bomba B	3	4SH-E	1750	16,8 m ³ /h	¾ HP
Bomba C	2	4SH-C	1750	16,8 m ³ /h	1 HP

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

4.4.2. Homogeneizador

A continuación se detalla en la tabla IV-12.

Tabla IV-12: Características del Homogeneizador

Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Consta de un motor de transmisión • Forma adaptada al fondo del tanque
Material	Acero Inoxidable
Pistones	Sellados
Válvula	De homogeneización
Indicador	De presión Hasta 1000 Pa*s
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Favorecer el intercambio de calor • Eliminar los glóbulos grasos de la leche

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

4.4.3. Pasteurizador por Placas

Esto se detalla en la tabla IV-13 a continuación.

Tabla IV-13: Características del Pasteurizador por Placas

Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de acero inoxidable con fondo inclinado
	<ul style="list-style-type: none"> • Programable en términos de temperatura y tiempo
Generador	Eléctrico
Motor – agitador	Optimiza la calefacción y la refrigeración
Capacidad	5000 L/ h
Control	Automático
Temperatura de operación	0-100 ° C
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Favorecer el intercambio de calor
	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la capa límite en la pared

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

4.4.4. Tanque de agitación

Sus parámetros del equipo se detallan a continuación en la tabla IV-14.

Tabla IV-14: Características del Tanque de almacenamiento con agitador tipo ancla

Material	Acero Inoxidable
Capacidad	1000 L
Campo de flujo generado	Axial
Régimen que alcanza	Turbulento
Velocidad tangencial	3-15 m/s
Viscosidad del medio	<8 Pa*s

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

4.4.5. Agitador Ancla

Se detalla en la tabla IV-15 a continuación:

Tabla IV-15: Características del agitador Ancla

Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Dos brazos que llegan cerca de la pared • Forma adaptada al fondo del tanque
Campo de flujo generado	Tangencial o radial
Régimen alcanzado	Laminar
Velocidad tangencial	1m/ s- 5m/s
Viscosidad del medio	Hasta 1000 Pa*s
Posición del rodete (d_2/ d_1)	0,9-0,98 (cerca de la pared)
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Favorecer el intercambio de calor • Disminuir la capa límite en la pared

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

4.4.6. Marmita

En este punto se detalla sus accesorios, su material de construcción, su espesor entre otros parámetros, de la marmita que se utiliza en la planta PIL Tarija que se detalla en la tabla IV-16.

Tabla IV-16: Características de la marmita

Producto	Dulce de leche
Capacidad del equipo	1000 litros
Tipo de marmita	1) Fija de acero inoxidable AISI 304
	2) Cuerpo de calefacción semiesférico
	3) Abierta
Espesores	Interior semiesfera: 5 mm AISI 304
	Exterior semiesfera: 5mm AISI 304
	Cuerpo superior: 3mm AISI 304
Transferencia de calor	Presión de trabajo 3.92 Bar
Agitación	Agitador ancla
	Motor de 2CV
Accesorios	Válvula de seguridad
	Manómetro 0-8Bar
	Compuerta de carga
	Compuerta de descarga

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

En el **ANEXO 20** se detalla los componentes que le rodean a la marmita en su ensamble en la sala de proceso de PIL Tarija S.A.

CAPÍTULO V
ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. COSTO DE PRODUCCIÓN

5.1.1 Costo de producción actual

En la tabla V-1, se muestra los costos actuales de dulce de leche por un mes de producción, 1.556,75 Kilogramos; esto se da en 3 procesos de elaboración, y equivale a 1200 litros de leche para los 3 procesos.

Tabla V-1; Proyección de Costo Mensual para la elaboración de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

Detalle	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
Costo por un mes de Producción	kg	1.556,75	-	17478,62
Vaso de 250 cm ³	unidad	6900.00	1,85	12765
Vaso de 500 cm ³	unidad	1500.00	1,73	2595
Cajas de Cartón medianas	Pza.	100.00	5,788	578,8
Fechero	Rollo	4.00	6,542	26,17
Costos Indirectos de Producción				
Energía Eléctrica	Kw	15		89,51
Gas Natural	m	2400		56,00
Agua Potable	L	1.200		80,6
Vapor	kg	200		50,045
Mano de Obra	unidad	2	4000	8000
Costo de Producción Total				41719,745

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

En la tabla V-1, se da a conocer los costos en un mes de producción de dulce de leche, de la planta PIL Tarija S.A.

5.1.1.1 Ingreso actual

En la tabla V-2, se muestra el ingreso por mes que obtiene PIL Tarija; este dato está de la tabla V-1.

Tabla V-2; Ingreso (Bs), en PIL Tarija por cada mes de producción de dulce de leche

Precio (Bs) dulce de leche de 250 cm ³ (A)	Precio (Bs) dulce de leche de 500 cm ³ (B)	Unidades totales de 250 cm ³ (C)	Unidades totales de 500 cm ³ (D)	A*C	B*D	Ingreso total (Bs) Σ
8	15	6900.00	1500.00	55.200	22.500	77700

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

Como se muestra en la tabla V-2, el ingreso por mes por la venta de dulce de leche de 250 cm³ y 500 cm³ en la PIL Tarija asciende a 77.700 Bs.

5.1.2 Costo de producción optimizada

En la tabla V-3, se muestra el costo de producción con la optimización realizada al proceso de dulce de leche en PIL Tarija; esto para evitar la formación de cristales de azúcares en corto tiempo.

La producción por mes con la optimización es de 2.756,75 Kilogramos, en cada proceso se utiliza 400 litros de leche.

Tabla V-3; Proyección de Costo Mensual para la elaboración de dulce de leche con la optimización elaborada en PIL Tarija S.A.

Detalle	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
Materia Prima				
Leche en polvo descremada	kg	273,00	35,74	9757,56
Leche natural	L	1.908,26	3,28	6259,09
Insumos				
Maicena	kg	24,36	5,66	137,87
Azúcar	kg	913,24	4,276	3905,01
Enzima Lactasa	kg	1	1200	1200
Bicarbonato de Sodio	gr	3000,00	0,01	30
Espesante CMC	gr	600,00	0,042	25,2
Antiespumante	gr	2.000,00	0,08	160
Esencia de Vainilla	cm ³	480,00	0,137	65,76
Glucosa en Polvo	kg	60,00	12,81	768,6
Materiales				
Vaso de 250 cm ³	unidad	7900,00	1,85	14615
Vaso de 500 cm ³	unidad	2000,00	1,73	3460
Cajas de Cartón medianas	Pza.	230,00	5,788	1331,24
Fechero	Rollo	5,00	6,542	32,71
Costos Indirectos de Producción				
Energía Eléctrica	Kw	20		90,51
Gas Natural	m ³	2.500		60,00
Agua Potable	L	1.400		85,6
Vapor	kg	230		60,045
Mano de obra	unidad	2	4000	8000
Costo de Producción Total				50.044,19

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

5.1.2.1 Ingreso Optimizado

En la tabla V-4, se muestra el ingreso por mes que obtiene PIL Tarija, con la optimización del proceso para que no forme cristales de azúcares, este dato está en la tabla V-3.

Tabla V-4; Ingreso (Bs), en PIL Tarija con la optimización del proceso de elaboración, por cada mes de producción de dulce de leche

Precio (Bs) dulce de leche de 250 cm ³ (A)	Precio (Bs) dulce de leche de 500 cm ³ (B)	Unidades totales de 250 cm ³ (C)	Unidades totales de 500 cm ³ (D)	A*C	B*D	Ingreso total (Bs)
8	15	7900.00	2000.00	63.200	30.000	93200

Fuente: PIL Tarija S.A. (2018)

5.2. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Para el análisis de rentabilidad se ha tomado como base de cálculo un mes operativo, considerando los siguientes casos, análisis del proyecto actual y análisis de proyecto futuro.

5.2.1. Análisis de Rentabilidad sin Proyecto (Actual)

En la tabla V-5, se muestra la relación ingreso/costo del proceso de producción actual por mes de la planta PIL Tarija.

Tabla V-5; Análisis de Rentabilidad de la Producción Actual por mes, de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

Dato	Unidad	Valor
Ingreso	Bs	77700
Costo de Producción	Bs	41719,745
Relación I/C	-	1,81

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

5.2.2. Análisis de Rentabilidad con Proyecto

En la tabla V-6, se muestra la relación ingreso/costo del proceso de producción optimizado por mes en la planta PIL Tarija.

Tabla V-6; Análisis de Rentabilidad del proceso de producción optimizado por mes, de dulce de leche en PIL Tarija S.A.

Dato	Unidad	Valor
Ingreso	Bs	93200
Costo de Producción	Bs	50.044,19
Relación I/C	-	1,86

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

Con estos costos e ingresos c/s proyecto se presenta a continuación una tabla comparativa.

Tabla V-7; Tabla Comparativa c/s, proyecto

Sin Proyecto	Con Proyecto	Efecto de la optimización
Su producción por mes es de 1.556,75 Kilogramos, esto se da en 3 procesos.	Su producción por mes es de 2.756,75 Kilogramos, esto se da en 4 procesos	Se aumenta un pedido más por la mejor calidad del producto.
El costo de producción 41719,745Bs.	El costo de producción 50.044,19Bs.	El costo aumenta en una cantidad de 8324,40 Bs que equivale al 19 %
El ingreso es 77.700 Bs.	El ingreso es 93.200 Bs.	El ingreso aumenta en una cantidad de 15.500Bs. que equivale al 19 %
Relación I/C =1,81	Relación I/C =1,86	Esta relación nos dice que el proyecto es factible para la empresa PIL, ya que el $I/C_{con\ proy.} > I/C_{sin\ proy.}$

Fuente: Elaboración Propia. (2018)

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

En este apartado se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado tras la realización del presente proyecto de grado.

- Una vez analizado el entorno del proyecto de grado, se comprueba la formación a corto tiempo de cristales de azúcares en el dulce de leche de la empresa PIL Tarija S.A., y con esta optimización se logrará que la formación de cristales de azúcares sea en 5 meses en el producto terminado.
- Actualmente el proceso de elaboración de dulce de leche de PIL Tarija, está en lo justo con los parámetros recomendados por las normas; por eso requiere un mejor control en su elaboración desde la recepción de la materia prima, hasta su comercialización.
- Las alternativas de solución evaluadas y elegidas para esta optimización están respaldadas con la NB-445-81, y con trabajos relacionados de esta área alimenticia, como también por el CAA (Código Alimentario Argentino), “Infoláctea” y el Codex alimentario.
- Se seleccionó el método más adecuado para que no forme cristales de azúcares en el dulce de leche en la planta PIL Tarija, que es la utilización de una enzima lactosa de nombre beta galactosidasa, y también tomando parámetros bibliográficos del CAA (Código Alimentario Argentino), “Infoláctea” y el Codex alimentario.
- Con el análisis de rentabilidad realizado, se cuantificó la inversión al implementar este proyecto de optimización, el cual generara un mayor ingreso económico por el proceso optimizado.

6.2. RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones que se puede proponer están las siguientes:

- La empresa PIL Tarija debe implementar este proyecto a la brevedad posible en la sección de elaboración de dulce de leche, con la inclusión de la enzima lactosa (beta Galactosidasa); esto está enfocado en el Codex Alimentario.
- Es necesario que se realice un seguimiento continuo en el proceso de elaboración de dulce de leche, para poder corroborar si se está cumpliendo con la norma vigente, y que los puntos críticos encontrados en el proceso, sean controlados y permanezcan dentro de los límites permitidos.
- La planta PIL Tarija debe tener mejoras en todos sus procesos de manera continua, no solo en los tecnológicos, sino en las Buenas Prácticas de Manufacturas (BPM) cumpliendo con las normas y estándares de calidad.
- Los equipos utilizados en la elaboración de dulce de leche deben tener un mantenimiento continuo, como en las diferentes salas de proceso.
- Implementar la ISO 9000 para que la planta PIL Tarija tenga un Sistema de Gestión de Calidad, sobre todo referido a registros de las actividades diarias de producción y control de calidad de la materia prima, en los procesos de elaboración de productos y productos terminados.

