

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química



Estudio de factibilidad técnica de una línea de producción
para queso de pasta hilada a base de grasa vegetal por
medio de una acidificación química

Trabajo de graduación presentado por
José Daniel Pereira Medrano

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala
2016

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química



Estudio de factibilidad técnica de una línea de producción
para queso de pasta hilada a base de grasa vegetal por
medio de una acidificación química

Trabajo de graduación presentado por
José Daniel Pereira Medrano

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala
2016

Vo. Bo.

(f) 
Ing. Henry Cukier

Terna examinadora

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) 
Ing. Cristián Rossi

(f) 
Ing. Henry Cukier

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de enero 2016

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICAS	ix
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	x
ÍNDICE DE IMÁGENES	xi
ÍNDICE DE FOTOS	xii
RESUMEN	xiii
I. Introducción.....	1
II. Marco teórico	2
A. Queso.....	2
B. Historia del queso	6
C. Tipos de queso.....	7
D. Quesos populares	8
E. Queso hilado	8
F. Manufactura de queso de pasta hilada	12
G. Características de calidad del queso.....	16
H. Consumo de leche y queso.....	18
I. Regulaciones nacionales e internacionales	20
III. Antecedentes	22
IV. Justificación.....	26
V. Objetivos	27
A. General	27
B. Específicos.....	27
VI. Metodología	28
VII. Resultados	35
VIII. Discusión de resultados	42
IX. Conclusiones.....	50
X. Recomendaciones.....	51
XI. Referencias bibliográficas	52
XII. Anexos	54
Anexo A: Fase experimental	54

Anexo B: Ejecución de pruebas a pequeña escala	56
Anexo C: Realización de evaluaciones de aceptación	58
Anexo D: Diseño y ejecución de pruebas piloto	64
Anexo E: Diseño de línea de producción	69
Anexo F: Diseño de automatización para línea de producción	70
Anexo E: Fotos	73
Anexo F: Caracterización de las materias primas	82
XIII. GLOSARIO	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características composicionales y de gelatinización de la leche de vaca .	3
Tabla 2: Cuajos más usados y sus enzimas	6
Tabla 3: Productos derivados del aceite vegetal e índice de grasas sólidas con potencial uso en lácteos	11
Tabla 4: Quesos producidos por las pasteurizadoras en el año 2013, según mes.	19
Tabla 5: Equipo disponible en la empresa y características del mismo	23
Tabla 6: Promedio y desviación estándar del rendimiento en la producción a pequeña escala del queso.....	33
Tabla 7: Descripción de pruebas en queso a pequeña escala	35
Tabla 8: Formulación base para las pruebas a pequeña escala	35
Tabla 9: Volumen de crema análoga y masa de estabilizantes añadido a cada formulación de queso en las pruebas a pequeña escala	35
Tabla 10: Rendimiento en pruebas de queso a pequeña escala a partir de 10 L de leche.....	35
Tabla 11: Porcentaje de preferencia entre muestra de queso 1 y 2 en evaluaciones sensoriales de pruebas a pequeña escala	36
Tabla 12: Porcentaje de preferencia entre muestra de queso 2 y 3 en evaluaciones sensoriales de pruebas a pequeña escala	36
Tabla 13: Porcentaje de preferencia entre muestra de queso 1 y 3 en evaluaciones sensoriales de pruebas a pequeña escala	36
Tabla 14: Formulación del queso de pasta hilada para las pruebas piloto	36
Tabla 15: Rendimiento en producción de queso en prueba piloto a partir de 100 L de leche para el queso 1	37
Tabla 16: Identificación de equipo presente en el diagrama de flujo	38
Tabla 17: Variables críticas en proceso de producción de queso de pasta hilada	39
Tabla 18: Guía de instrumentación en esquema P& ID	40
Tabla 19: Porcentaje de grasa en formulaciones de quesos de pasta hilada a pequeña escala	54
Tabla 20: Porcentaje de estabilizantes en formulaciones de quesos de pasta hilada a pequeña escala	55
Tabla 21: Acidez inicial titulable de la leche descremada para las pruebas a pequeña escala	56

Tabla 22: Acidez titulable del suero recién cortado para pruebas a pequeña escala	57
Tabla 23: Volumen de crema análoga y de grasa vegetal utilizada por cada prueba de queso de pasta hilada a pequeña escala.	57
Tabla 24: Cantidad de queso obtenido en las tres pruebas de formulación a pequeña escala	57
Tabla 25: Rendimiento de queso para cada prueba a pequeña escala	58
Tabla 26: Números asignados a cada queso para prueba de evaluación de aceptación.....	58
Tabla 27: Preferencia de evaluadores en los quesos preparados a pequeña escala	59
Tabla 28: Materia prima necesaria para la producción del queso de pasta hilada a escala de prueba piloto	64
Tabla 29: Acidez titulable de la leche fluida utilizada en cada prueba piloto	65
Tabla 30: Libras de gas propano utilizadas para elevar la temperatura de la leche	65
Tabla 31: Masa de solución de ácido cítrico 10% usado en cada prueba piloto ...	65
Tabla 32: Acidez titulable del suero recién cortado en pruebas piloto.....	66
Tabla 33: Masa de cuajada obtenida, masa de sal y crema utilizada y masa de queso de pasta hilada obtenido.....	66
Tabla 34: Variables críticas en proceso de producción de queso de pasta hilada	70
Tabla 35: Guía de instrumentación en plano P& ID	71
Tabla 36: Caracterización de la leche descremada.....	82
Tabla 37: Caracterización del cloruro de calcio.....	82
Tabla 38: Caracterización de la solución de ácido cítrico.....	82

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Porcentaje de influencia de cada atributo mencionado para la preferencia del queso número 142 sobre el queso número 255.	60
Gráfica 2: Porcentaje de influencia de cada atributo mencionado para la preferencia del queso número 248 sobre el queso número 255.	60
Gráfica 3: Atributos de preferencia entre muestra de queso 1 y 3	61
Gráfica 4: Atributos comparativos entre muestra de queso 1 y queso adquirido en el supermercado.....	63
Gráfica 5: Porcentaje de influencia de cada atributo mencionado para la preferencia del queso del supermercado sobre el queso 1	63

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Producción básica de queso	13
Diagrama 2: Diagrama de flujo con pasos principales para la producción de quesos y algunas variantes para hacer distintos tipos.	14
Diagrama 3: Factores que afectan calidad del queso	18
Diagrama 4: Esquema del proceso para las pruebas piloto.....	37
Diagrama 5: Diagrama de la línea de proceso propuesto para la elaboración del queso.....	38
Diagrama 6: Balance de masa y energía en tanque de cuajada y agitación.....	67
Diagrama 7: Balance de masa y energía en filtrado.....	68
Diagrama 8: Balance de masa y energía en marmita para hilado	68

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Fluidéz del queso en función del pH, con la proporción de calcio en la fase del suero	10
Imagen 2: Organigrama de “La Empresa Manufacturera”	24
Imagen 3: Esquema del área de producción de la empresa.....	24
Imagen 4: P & ID propuesto para la línea de producción	41
Imagen 5: Hoja de evaluación de aceptación de preferencia entre queso 2 y 3	59
Imagen 6: Hoja de evaluación de aceptación entre formulación de muestra de queso 1 y muestra de queso adquirido en un supermercado.....	62
Imagen 7: Plano P& ID para la línea de producción de queso de pasta hilada	71

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1: Leche utilizada en prueba a pequeña escala.....	73
Foto 2: Acidificación directa de la leche y obtención de cuajada en prueba a pequeña escala	73
Foto 3: Medición de acidez por medio de titulación en prueba a pequeña escala .	74
Foto 4: Filtración de cuajada en prueba a pequeña escala.....	74
Foto 4: Cuajada obtenido en prueba a pequeña escala.....	75
Foto 5: Queso 1 a pequeña escala	75
Foto 6: Queso 2 a pequeña escala	76
Foto 7: Queso 3 a pequeña escala	76
Foto 8: Proceso de hilado a pequeña escala.....	77
Foto 9: Muestras para evaluaciones de aceptación	77
Foto 9: Evidencia de evaluación de aceptación.....	78
Foto 10: Leche utilizada para pruebas piloto	78
Foto 11: Medición de ácido cítrico para pruebas piloto	79
Foto 12: Medición de acidez por medio de titulación para pruebas piloto	79
Foto 13: Cuajada de pruebas piloto.....	80
Foto 14: Adición de crema a cuajada de pruebas piloto	80
Foto 15: Proceso de hilado en pruebas piloto	81
Foto 16: Pesado de tanque de gas	81

RESUMEN

El presente trabajo tiene como principal objetivo analizar la factibilidad técnica de la producción de un queso de pasta hilada con grasa vegetal y una acidificación química en una empresa manufacturera ya establecida. Para poder realizar este trabajo se inició por una revisión exhaustiva de la bibliografía para determinar los procesos a seguir para producir un queso de este tipo, obteniendo una formulación base inicial para incorporar la grasa vegetal a un queso de pasta hilada.

Para determinar la factibilidad técnica de incluir esta línea de producción a la operación normal de una empresa se realizaron pruebas piloto dentro de la empresa utilizando materia prima, equipo, personal, espacio y tiempo de la empresa para ver cómo esto podría incorporarse a la operación normal de la empresa. Para obtener la formulación necesaria para ejecutar la prueba piloto se llevaron a cabo evaluaciones de aceptación de preferencias de tres formulaciones diferentes hechas a pequeña escala. Estas formulaciones tuvieron como objetivo variar el porcentaje de grasa vegetal en el queso y el porcentaje de estabilizantes que actúan como sustitutos de grasa.

Adicionalmente a esto, si se desea tener un crecimiento, la empresa manufacturera debe de estar lista para esto. Por lo que durante el análisis de factibilidad técnica es importante localizar los factores que limitan los volúmenes de producción. Estos factores pueden ser en materia de suministros, espacio, tiempo, personal, equipo o de materia prima. Como complemento a esto, y previendo un crecimiento estable y constante también se realizó una propuesta de diseño de automatización de la línea de producción incluyendo cambios a aquellos factores que limitan la producción a modo de optimizar la producción de queso y minimizar cualquier error que pueda provenir de los operarios de producción.

Las tres formulaciones a pequeña escala tuvieron concentraciones de grasa del 13.5%, 18% y 13.5% en ese orden. A estas formulaciones se les incluyó estabilizantes como sustitutos de grasa y fue en concentraciones de 0.3%, 0.8% y 0.3% en ese orden. Estas pruebas a pequeña escala tuvieron un rendimiento de 0.12 kg queso/ kg leche. Para determinar que formulación era la mejor se llevaron a cabo evaluaciones de aceptación de preferencia donde la que obtuvo la mayor preferencia fue la formulación 1 con 13.5% de grasa y 0.3% estabilizantes. Posterior a esto se comparó la formulación escogida con un queso de origen comercial, comprado en un supermercado. Se obtuvo un perfil radial donde el queso comercial muestra mejores atributos en cuanto a sabor, textura y contenido de sal, mientras que el queso de pasta producido tuvo un mejor estiramiento. Esta prueba mostró un 37% de preferencia al queso producido para este trabajo.

Con la formulación final se ejecutó una prueba piloto dentro de la planta de producción, a modo de poder incluir la producción del queso dentro de un día normal de labores. Se realizaron dos lotes de 100 L de leche en un tiempo de 3 horas y media. Para esto se obtuvo un rendimiento para ambas corridas de 0.13 kg queso / kg leche. Se utilizaron 24 L de solución de ácido cítrico al 10% para la coagulación y regulación de acidez de la cuajada.

Al finalizar las pruebas pilotos y la línea de producción ya diseñada, se plantea una propuesta de automatización para la línea de producción. Se incluyen lazos de control para el control de flujo de leche, medidores de nivel, controladores de temperatura y pH para evitar variaciones en la calidad del producto final.

I. Introducción

En Guatemala, el queso es un producto cultural y tradicional que se produce desde una escala industrial en grandes empresas hasta pequeñas productoras artesanales o de barrio. Su consumo como acompañamiento en uno de tantos platos o como un ingrediente en un plato hace que su demanda sea muy alta.

Tanto el consumo local como internacional hacen de este un producto atractivo para las exportaciones, ya que su alta demanda ha impulsado la industrialización de los procesos de producción con el objetivo de obtener un producto de alta calidad a un costo que asegure la rentabilidad. A pesar que la mayoría del consumo de queso en Guatemala se basa en quesos populares como el queso duro, fresco o de capas, quesos de pasta hilada, como el quesillo o la mozzarella son muy utilizados por la industria gastronómica, por lo cual su nivel de producción se mantiene en aumento.

Según reportes de las pasteurizadoras, en el año 2013 se produjeron aproximadamente 2.5 millones de libras de queso Mozzarella (INE, 2014), siendo este el de mayor producción reportada. Este dato no toma en cuenta otros quesos de pasta hilada consumidos localmente como el quesillo o el queso de pita. Esta información evidencia la alta demanda de un queso con propiedades y características similares.

La incorporación de sustitutos de grasa, como pueden ser gomas o maltodextrina al igual que la utilización de grasas de origen vegetal ofrecen una opción al consumidor que esté buscando un precio más accesible con propiedades similares al del queso hecho solo con la grasa de origen animal. Este trabajo brindará el análisis de factibilidad técnica de la inclusión de productos de este tipo para la producción de un queso que satisfaga las necesidades del mercado manteniendo un costo bajo para el productor y un precio accesible para el consumidor.

II. Marco teórico

A. Queso

La leche es un producto alimenticio de baja acidez y con alta humedad, lo cual tiene como consecuencia su rápido deterioro a menos que técnicas de preservación sean aplicadas. Un método para prolongar la vida de la leche es por la manufactura de queso limitando el crecimiento microbiológico por medio de pasteurización, acidificación directa, deshidratación, refrigeración y empackado. (Tamime, 2007)

El queso es una proteína en gel concentrada, la cual contiene grasa y humedad. Su manufactura involucra la gelatinización de la leche, deshidratación de este gel para formar una cuajada y posteriormente un tratamiento a la cuajada, dependiendo del tipo de queso que se desea obtener. El queso consta de un arreglo complejo de grasa y proteína en fases acuosas. Los quesos naturales se producen por la coagulación de la leche por medio de una acción enzimática, a través de adición de ácido o por precipitación isoeléctrica. Esta gelatinización de la leche puede ser lograda por medio de:

- Hidrolisis selectiva de la κ -caseína en el enlace péptido fenilalanina¹⁰⁵-metionina¹⁰⁶ por la adición de proteinasas ácidas conocidas como rennet (quimosina, pepsina)
- Acidificación directa (cultivos, ácidos grado alimenticio o acidógenos) a una temperatura entre 20-40 grados Celsius a un pH cercano al isoeléctrico de la caseína (≈ 4.6)
- Combinación de ácido y calor, como calentamiento de leche a 90 grados Celsius a un pH de ≈ 5.6 . (Law, 2010)

1. Leche

La leche es un fluido biológico proveniente de todas las hembras de las especies mamíferas, de las cuales hay más de 4000 especies. La función primordial de la leche es lograr los requerimientos completos nutricionales de las especies neonatas. En adición a esto la leche cumple con otras funciones fisiológicas para los neonatos. Muchas de las funciones no-nutricionales de la leche son llevadas a cabo por proteínas y péptidos que incluyen las inmunoglobulinas, enzimas, inhibidores enzimáticos, proteínas enlazantes o de transporte y agentes antibacterianos. (Fox, 1998)

La leche consiste principalmente de proteínas (caseínas y proteínas del suero), lípidos, lactosa, minerales (solubles e insolubles) y otros componentes como enzimas, péptidos o amino ácidos libres y agua. La fracción de la caseína existe en

conjunto con los minerales insolubles en forma de fosfato de calcio-complejo de caseína. El agua y sus minerales solubles son llamados suero.

Tabla 1: Características composicionales y de gelatinización de la leche de vaca

Característica		Media	Rango
Composición en bruto			
Materia seca	(g/100 g)	12.04	11.52-12.44
Grasa	(g/100 g)	3.55	3.24-3.90
Lactosa	(g/100 g)	4.42	4.21-4.56
Proteína total	(g/100 g)	3.25	2.99-3.71
Proteína verdadera	(g/100 g)	3.06	2.77-3.47
Caseína	(g/100 g)	2.51	2.29-2.93
Proteína de suero	(g/100 g)	0.54	0.48-0.64
Nitrógeno de no proteínas (N)	(mg/100 g)	5.33	4.79-6.16
Urea	(g/100 g)	27.6	22.00-37.50
Ceniza	(g/100 g)	0.74	0.71-0.77
Calcio	(mg/100 mL)	118	108-137
Hierro	(mg/100 mL)	976	460-1490
Magnesio	(mg/100 mL)	107	96-117
Cloruro	(mg/100 mL)	100	95-116
Vitaminas/componentes vitamínicos			
B-Caroteno	(µg/g grasa)	3.18	0.48-8.37
Tiamina	(µg/mL)	0.18	0.09-0.35
Riboflavina	(µg/mL)	0.88	0.19-1.85
Vitamina A	(µg/g grasa)	9.41	2.18-27.85
Vitamina E	(µg/g grasa)	25.56	6.84-12.15
Ioduro (I)	(µg/mL)	0.28	0.20-0.51
Cobalto (Co)	(µg/mL)	0.96	0.44-1.70
Propiedades de gelación			
RCT	min	6.15	4.50-7.44
A30	min	46.8	43.00-51.38
1/k20	1/min	0.23	0.3-0.19
Otros componentes			
Total de ácidos grasos libres	(mg/kg grasa)	3769	2629-5108

(Law, 2010)

La leche cruda por lo regular consiste de agua (87%), carbohidratos (principalmente lactosa, 4.9%), lípidos (3.7%), proteínas (principalmente caseínas y suero, 3.5%) y minerales (0.7%). Estos datos sólo son promedios ya que estos pueden variar de acuerdo a: raza, edad, alimentación y la etapa de lactancia. A pesar que su estructura parece ser homogénea, está compuesta de 5 fases físicas: micelas de caseína, glóbulos de grasa, células lácteas (somáticas, sirven de protección contra patógenos), vesículas de membrana de suero de lipoproteína (MSLM) y suero de leche en el cual todas las otras fases están dispersadas homogéneamente.

a. Contenido proteico

Las caseínas son las proteínas más importantes de la leche, representando del 76-86% del total de proteínas en la leche de vaca. Del 80-95% de toda la caseína se encuentra en micelas de caseína, las cuales son estructuras esféricas coloidales dispersas en una solución con un diámetro de 50-500 nm. Las caseínas son heterogénea y consiste de 4 tipos principales: α_{s1} , α_{s2} , β and κ , las cuales representan alrededor de 38, 10, 35 y 15 g de cada 100 g. Cada tipo de caseína varía en contenido basado en la distribución de fosfatos. (Momani, 2012)

La proteína del suero en la leche de la vaca es de alrededor de 0.6-0.7 g por cada 100 g y consiste de 4 tipos principales: β -lactoglobulina, α -lactalbumina, inmunoglobulina y albumina de suero bovino consistiendo en promedio de 54, 21, 14 y 6 g de cada 100 g respectivamente. Estas proteínas existen en la leche como proteínas globulares solubles. (Law, 2010)

La degradación, a través de proteólisis, de las proteínas de la leche es esencial para obtener las cualidades deseadas en productos alimenticios. Sin embargo, la proteólisis descontrolada puede afectar adversamente la calidad del producto final. Las proteasas son conocidas por causar mal sabor por la formación de péptidos "amargos". Péptidos que comúnmente contienen altas proporciones de leucina, valina y residuos de amino ácidos aromáticos. Sin embargo, cuando las proteasas pueden tener una actividad sustancial a bajas temperaturas y al pH de la leche (pH 6.7), no causan mal sabor al pasteurizar la leche. Proteasas de origen bacteriano pueden tener múltiples efectos en la producción de quesos, como un menor rendimiento o un crecimiento bacteriano inicial. (Momani, 2012)

El grado de interacción y de tamaño/locación de las proteínas tiene un efecto muy profundo en la estructura y las propiedades físicas de las cuajadas obtenidas por coagulación con cuajo o inducidas por acidificación directa y, por lo tanto, en los quesos. Dependiendo del tipo de queso a producir, el tratamiento de la leche para el queso al calor es muy importante debido a las interacciones caseína-proteína del suero, ya que altas temperaturas causan una alta tasa de desnaturalización de la

proteína, lo cual les útil para la producción de yogurt y quesos con una textura suave como el queso crema. Sin embargo, este tipo de exposición de la leche a la alta temperatura es contraproducente para quesos ácidos con estructura granular como es el queso Cottage. Tratamiento de alta temperatura para la leche no es recomendado para quesos que se coagularán por medio de cuajo ya que el nivel de proteínas desnaturalizadas de mayor del 26% impide la habilidad de la leche de coagular al añadirle el cuajo, causando deterioro en las propiedades fundentes del queso y reduce la recuperación de la grasa de la leche al queso. (Law, 2010)

b. Contenido graso

El contenido graso en la leche es de las fracciones más importantes de la leche, al ser una emulsión o un coloide de glóbulos de grasa de mantequilla en un fluido basado en agua (suero). Los mayores componentes lípidos son los triglicéridos (98%), pero adicionalmente hay pequeñas cantidades de diglicéridos, monoglicéridos, ésteres de colesterol, ácidos grasos libres (FFA, por free fatty acids, en inglés) y fosfolípidos. Más del 95% de la grasa de la leche es globular, con cada glóbulo siendo rodeado de una membrana consistiendo de fosfolípidos y proteínas.¹ Estos glóbulos dispersos tienen en promedio un diámetro de 2-6 μm y están rodeados de una membrana que estabilizan la grasa evitando su coalescencia y posterior fusión. Un deterioro a la membrana debido a un mal manejo físico-mecánico (cavitación, cizallamiento, turbulencia, etc.) no es deseado en la manufactura del queso. (Momani, 2012)

Los ácidos grasos contienen por lo regular de 4-18 átomos de carbono. Ácidos grasos saturados acumulan el 75% de los ácidos grasos totales en la leche bovina, con los ácidos grasos de cadena larga mirístico (C14), palmítico (C16) y esteárico (C18) siendo los predominantes. Un 21% ocurre como ácidos grasos mono insaturados, del cual más prevaleciente es el ácido oleico (C18:1). La mayoría de los ácidos grasos insaturados en la leche cruda están en una conformación –cis. Se ha encontrado que existe una presencia de alrededor de 2.7% de ácidos grasos trans en la leche cruda. Aun cuando los ácidos grasos trans se consideran como un posible riesgo a la salud, implicaciones de salud pública en relación al consumo de ácidos grasos trans rumiantes se creen bastante limitadas. Únicamente alrededor de 4g/100g de los ácidos grasos de la leche son poliinsaturados, principalmente ocurriendo como ácido linoleico (C18:2), sin embargo, esto depende en la dieta de la vaca. (Momani, 2012)

2. Cuajo

Hay muchos tipos de cuajos o enzimas coagulantes utilizadas para la manufactura de queso. El tipo de coagulante se basa en la fuente del mismo.

a. Cuajo de origen animal

El cuajo proveniente del ternero es el ideal para la producción de quesos debido a su alto contenido de quimosina, a enzima natural para coagular la leche bovina. Por lo regular los terneros cuentan con altos niveles de quimosina y de pepsina, dependiendo de su edad. A continuación, una tabla con los cuajos más comúnmente utilizados y sus enzimas.

Tabla 2: Cuajos más usados y sus enzimas

Grupo	Origen	Ejemplos de rennet y coagulantes	Componentes de enzima activa
Animal	Estómagos bovinos	Rennet de becerro, rennet de bovinos adultos	Quimosina bovina A, B y C, pepsina A y gástrica
		Pasta de rennet	Igual que arriba, más lipasa
	Estómagos ovinos	Rennet de cordero, rennet ovino	Quimosina de ovino y pepsina
	Estómagos caprinos	Rennet de caprino bebe, rennet de caprino	Quimosina caprina y pepsina
Microbial	<i>Rhizomucor miehei</i>	Coagulante Miehei tipo L, TL, XL y XLG/XP	Proteinasa aspartica <i>rhizomucor miehei</i>
	<i>Cryphomectria parasitica</i>	Coagulante parasitica	Proteinasa aspartica <i>Cryphomectria parasitica</i>
Quimosina producida por fermentación	<i>Aspergillus niger</i>	CHY-MAX, CHY-MAX M	Quimosina bovina B, Quimosina camelus
	<i>Kluyveromyces marxianus var. lactis</i>	Maxiren	Quimosina bovina B
Vegetal	<i>Cynara cardunculus</i>	Cardoon	Ciprosina 1,2 y 3 y/o cardos en A y B

(Law, 2010)

B. Historia del queso

No existe una historia definida sobre el origen del queso ya que entre mitos e historias regionales ésta se pierde. Sin embargo, el queso fue uno de los primeros productos de origen animal transformado. En relación a documentación histórica la referencia más antigua es un friso sumerio del tercer milenio a.c. llamado el Friso de la Lechería. En este documento se habla sobre el proceso de ordeñado y cuajado de la leche. A partir de este documento se logra encontrar más documentación histórica en referencia al queso y su producción. (Romero, 2004)

Estas primeras referencias toman lugar en la cuna de la civilización en el medio oriente, situado ente los ríos Éufrates y Tigris en Iraq. De acuerdo con los trabajos arqueológicos de Ser Leonard Woolley, se pudo concluir que el queso en esta área de producía de la leche de vaca y cabra. (Scott, 1998)

Escenas mostradas en las paredes de la tumba de Ramesid (100 b.c.) muestran cabras siendo trasladadas a un campo a pastar, con bolsas de piel suspendidas en postes de madera. Estas bolsas de piel animal eran maneras convenientes de trasladar y de tener líquidos, como es la leche. La fermentación de los azúcares de la leche en estos climas cálidos pudo causar que la leche se cuajara en las bolsas y se separara del suero. El suero podía ser utilizado por la gente como una bebida y la cuajada proveía de una fuente de alimento con alto contenido proteico que podía suplir la escasez de carne. (Scott, 1998)

C. Tipos de queso

Los tipos de queso varían de acuerdo al origen de la leche, calidad de la misma y del proceso de fabricación. En términos generales los quesos se pueden clasificar de acuerdo a la dureza del mismo, por lo tanto, se podrían clasificar como:

- Queso muy duro
 - Por lo regular tiene un largo proceso de maduración, entre 8 y 12 meses. En ejemplo conocido es el queso parmesano Reggiano, provolone realizado a partir de leche de búfala o el queso español manchego.
- Queso duro
 - Pasa por un periodo de maduración entre 4 a 10 meses. De este tipo los más conocidos son el queso emmental, el cheddar o el rondeño.
- Queso semi duro
 - Este queso tiene entre un 49% y 57% de extracto seco con un periodo de maduración entre 3 y 5 meses, por lo que es más blando y suave. Por ejemplo, el queso gouda o el queso baridá.
- Queso blando cremoso
 - Tiene un contenido de extracto seco entre 44 y 55%, teniendo como resultado un queso blando y jugos, pero que sólo puede ser cortado en porciones gruesas. El queso más famoso es el butterkase de Alemania. También se incluyen los quesos con moho denominados de vena azul. Son quesos inoculados con un hongo que causa las manchas verde-azuladas, como el queso roquefort o gorgonzola.
- Queso blando con moho
 - Estos son distintos a los anteriormente descritos debido al proceso de maduración que conllevan. En estos la maduración se realiza de fuera

hacia dentro gracias a un cultivo bacteriano. Por lo regular están curados en la parte exterior, pero no lo están en el interior. Los más famosos son el camembert y el brie.

- Queso fresco
 - Queso que no requiere maduración, al tratarse de ingredientes frescos o coagulados de la leche. Su conservación es refrigerado a 4 grados Celsius
- Queso de leche agria
 - Especialidad alemana fabricado a base de leche desnatada y fermentos lácticos, difícil de encontrar localmente.
- Queso fundido
 - Se calienta la masa a 80 ó 90 grados Celsius, ésta se torna líquida y se torna más maleable para poder verterla en moldes y sin corteza. El calor destruye las bacterias que propician la maduración, por lo tanto, el proceso de transformación se detiene en este momento. (Martínez, 2010)

D. Quesos populares

Tradicionalmente en Guatemala los quesos consumidos tienden a ser hechos de forma artesanal o aquellos hechos en queserías de barrios. Los quesos más populares culturalmente por lo regular se consumen típicamente en el desayuno, almuerzo o cena. Los quesos clásicos consumidos en Guatemala son el queso fresco, queso de capas o el queso duro. Estos por lo regular son consumidos por los niveles socioeconómicos bajos, medios y medio altos del país (D, C y C+). Estos quesos se pueden encontrar fácilmente en queserías de barrio, supermercados o tiendas de barrio. Estos quesos adquirieron su popularidad debido a la facilidad de su producción artesanal al no requerir maquinaria especial.

Aparte de los quesos ya mencionados, otros quesos populares para el consumo directo en Guatemala son el queso tipo Kraft o queso procesado, queso crema y queso de pasta hilada, como puede ser mozzarella o también el conocido en Guatemala como quesillo. Los quesos de pasta hilada por lo regular tienden a estar dirigidos más a niveles socioeconómicos medio alto y alto del país (C y B) y tienden a posicionarse en supermercados en lugar de tiendas de barrio o abarroterías. (Prochile, 2009)

E. Queso hilado

Hilar el queso consta de calentar la cuajada obtenida y estirarlo a medida que éste se funde. Este método mecánico se realiza regularmente de forma manual en

las queserías pequeñas y medianas en Guatemala, sin embargo, hay empresas que tienen maquinaria para realizar este paso de forma mecánica.

El proceso de hilado del queso le proporciona propiedades funcionales deseadas para este tipo de quesos. Estas propiedades, como su textura, estiramiento, fundimiento, facilidad para desmenuzarse, formación parcial de aceites libres y su color suelen ser de mayor importancia que su sabor. Este tipo de queso, al estar recién producido, contiene una gran cantidad de suero, lo cual previene que se puede desmenuzarse fácilmente para su uso posterior como ingrediente. Se recomienda un periodo de maduración de 10 días para permitir que la matriz de caseína absorba la humedad previa a su desmenuzamiento. Generalmente mayor cantidad de grasa producirá mayor aceite libre en el queso y una gran cantidad de sal inhibirá la formación de aceites libres, pero causará que el queso sea más duro, más elástico, pero menos fundente.

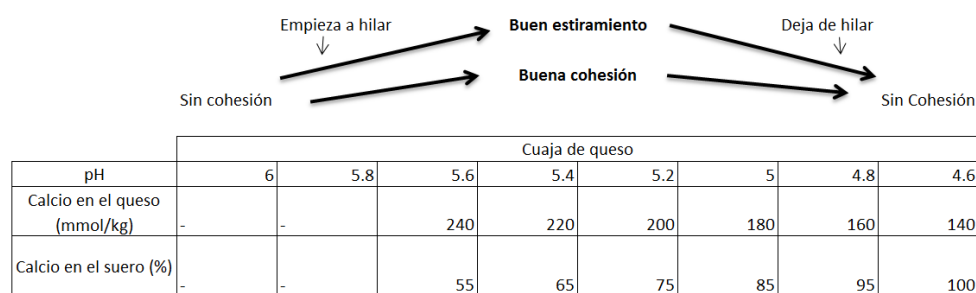
Durante el proceso de hilado, la porosidad de la cuajada disminuye. El calentamiento y estiramiento de la cuajada induce las fibras de la proteína y suero a alinearse en la dirección del estiramiento en el queso. Al terminar este proceso las fibras quedan suaves y lisas en lugar de porosas. (Tamime, 2007)

1. Parámetros de composición

- Calcio y pH: Son factores interdependientes comprendidos como los mayores responsables y determinantes de la microestructura en los quesos hilados. El pH dicta la cantidad de calcio que es particionado en la estructura de la cuajada en el punto de desuerado. A menor pH la proporción de iones de calcio solubles aumenta, permitiendo la asociación de proteínas a través de una interacción hidrofóbica. Un bajo nivel de calcio resulta en una menor cantidad de “bolsillos” de suero, pero en un mayor fundimiento y una firmeza menor. Una mayor cantidad de calcio mejorará las interacciones proteína-proteína, por lo tanto, disminuyendo la asociación entre proteínas y agua, disminuyendo así la capacidad de fundición del queso. (Tamime, 2007)

Un pH mayor a 5.4 (promedio para este tipo de queso) causa que la estructura fundida del queso sea más fibrosa, mientras un pH menor a 5 causa que la estructura consista de partículas incompletamente fusionadas con mala fundición. (Tamime, 2007)

Imagen 1: Fluidez del queso en función del pH, con la proporción de calcio en la fase del suero



(Tamime, 2007)

- **Sal:** Un aumento en el nivel de sal reduce la cantidad de suero presente en el queso normalmente expresado en forma de “bolsillos” de suero. A una mayor concentración de sal, la fase proteínica del queso absorbe agua, promoviendo así las interacciones agua-proteína. La relación entre la calidad del queso y la sal depende del tipo de queso ya que hay quesos en los cuales la adición de sal causa una mayor solvatación e hinchamiento, características que no son deseadas en todos los quesos. (Tamime, 2007)
- **Grasa:** La grasa es necesaria en el queso para desarrollar el sabor, textura y tipo de queso. A mayor cantidad de grasa en el queso la textura del mismo se suaviza al ingresar en la matriz fibrosa de la caseína. A medida que la cantidad de grasa es disminuida en el queso, el producto se vuelve más duro y puede llegar a tornarse amargo. Una disminución en la cantidad de grasa en el queso produce un mayor volumen de fase proteínica y menor de glóbulos grasos, lo cual corresponde a un incremento en la viscosidad del queso, una disminución en la capacidad fundente del queso y un incremento en el agua libre del queso que puede ser removida por centrifugado. (Tamime, 2007)
- **Sustitutos de grasa:** Carbohidratos, poliésteres de sacarosa o triacilglicéridos modificados pueden ser algunos de los sustitutos. Estos productos sirven para abrir la matriz proteínica y permitir una mayor retención de humedad. El uso de proteína de suero micro-particulada ha mostrado que se asocia con la fase acuosa y la proteína con la fase grasa del queso. La utilización de este producto o pectina de bajo metoxilo produce una matriz proteínica más compacta y más homogénea en comparación de queso con grasa. De igual manera la adición de tapioca, malto dextrina o lecitina producen una microestructura similar al queso con sólo grasa. (Tamime, 2007)

En quesos con sustitutos de grasa el proceso de homogenización disminuye la cantidad de grasa que se pierde en el desuerado. En la mayoría de estudios en los cuales el sustituto de la grasa está basado en lípidos, la grasa primero debe de ser homogenizada con un emulsificante, usualmente basado en la proteína láctea, previo a agregarlo a la leche descremada o leche baja en grasa. (Tamime, 2007)

De igual manera se puede utilizar manteca o aceites vegetales como grasa análoga para la producción de queso. Sin embargo, debido a la amplia gama de grasas de origen vegetal, cada una con sus propiedades, se debe escoger el tipo de grasa adecuada para obtener el queso con las características deseadas. (O'Brien, 2009)

Tabla 3: Productos derivados del aceite vegetal e índice de grasas sólidas con potencial uso en lácteos

Fuente del aceite	Grasa de leche	Aceite de coco			Aceite de soya	Aceite de palma y de algodón			Aceite de soya y algodón		Aceite de soya	
		RBD	Hidrogenado			Hidrogenado	Hidrogenado	Hidrogenado y fraccionado	Hidrogenado	Manteca líquida		
Índice de grasas sólidas												
10.0 °C	33.0	59.0	57.0	63.0	41.0	57.0	64.0	68.0	69.0	72.0	58.0	3.5
21.1 °C	14.0	29.0	33.0	41.0	24.0	45.0	56.0	56.0	58.0	63.0	43.0	2.5
26.7 °C	10.0	-	8.0	16.0	16.0	40.0	40.0	40.0	50.0	55.0	34.0	2.5
33.3 °C	3.0	-	3.0	7.0	3.0	20.0	12.0	12.0	27.0	25.0	12.0	2.0
40.0 °C	-	-	-	4.0	-	4.0	4.0	4.0	14.0	5.0	1.0	1.5

(O'Brien, 2009)

- **Homogenización:** El proceso de homogenización aplicado al a leche que se utilizará para la producción de quesos logra una reducción en el tamaño de los glóbulos grasos, creando un queso más blanco y un incremento en la cantidad de humedad retenida en el queso. Al procesar quesos con leche homogenizada se pueden observar glóbulos de grasa pequeños al igual que áreas irregulares y grandes de grasa. Esto se debe al cizallamiento de la leche en conjunto con la presión de la matriz de la caseína sobre los glóbulos de grasa que causan una consolidación.

Al ser de menor tamaño los glóbulos de grasa existe un aumento en el área en la interface grasa-agua y esta área está principalmente cubierta por micelas de caseína y fragmentos. Esto puede permitir que los glóbulos actúen en la matriz como copolímeros. Debido a una mayor adsorción de caseína en la superficie del glóbulo de grasa la densidad micelar de los puntos de unión se reduce, por lo tanto, la matriz de caseína no se compacta tan fácilmente teniendo como efecto una mayor retención de humedad. (Tamime, 2007)

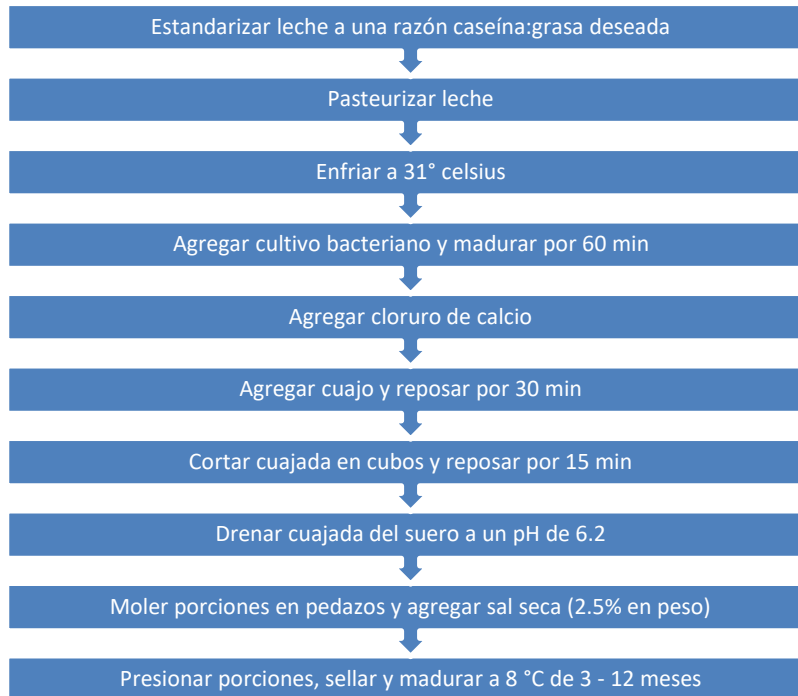
- Leche re combinada: Puede ser manufacturada mezclando leche descremada con una fracción de leche con grasa (entera) y posterior proceso de homogenización. Muchas veces este tipo de leche también es conocida como media leche. A medida que la grasa tenga un menor punto de fusión se percibe una mayor formación de aceites libres en el queso y una menor viscosidad aparente al fundir el queso.

También se ha re combinado leche por medio de la adición de un subproducto de la producción de llamado en inglés como “buttermilk” o grasa butírica. Este producto tiene buenas propiedades emulsificantes, por lo cual puede resultar eficaz para la producción de quesos al ser re combinado con leche. (Tamime, 2007)

F. Manufactura de queso de pasta hilada

A continuación, se presenta un diagrama de bloques para la producción de queso genérico, las etapas importantes y críticas serán descritas a continuación.

Diagrama 1: Producción básica de queso



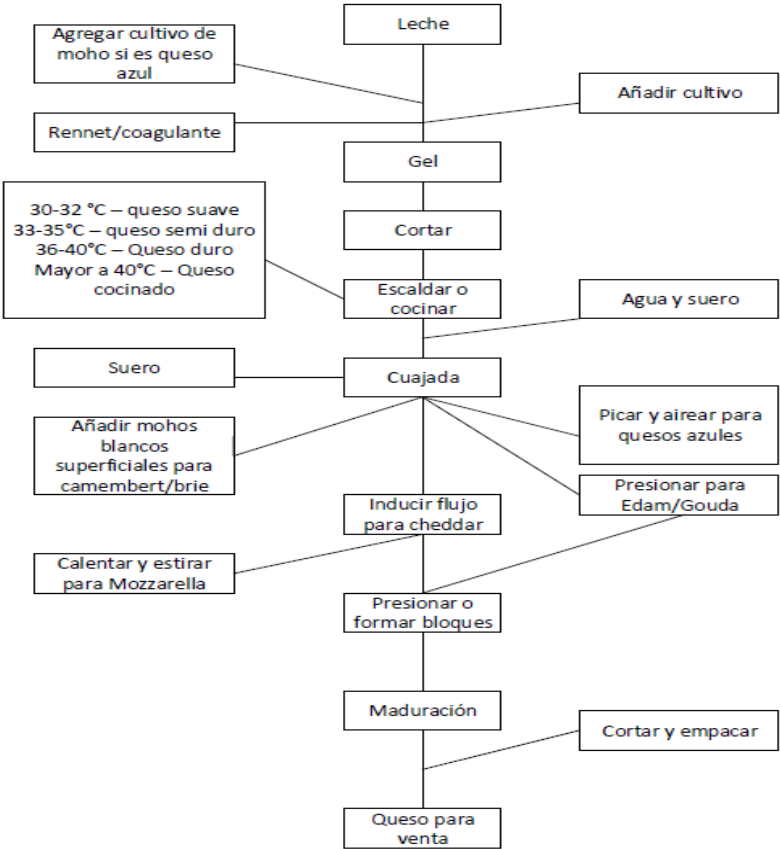
El cultivo bacteriano es agregado al inicio del proceso de maduración con el objetivo de disminuir el pH de la leche (6.7) al del queso (4.6-6 para la mayoría de variedades). Un método alternativo para bajar disminuir el pH es por medio de acidificación directa con el fin de obtener un pH similar al del producto terminado. Posterior a esto, la leche se coagula por 30 minutos por la adición de ácido o coagulantes enzimáticos a una temperatura de 30° Celsius. Esta matriz coagulada se corta en pequeños cubos por medio de una malla y se deja reposar por 15 minutos para formar una barrera deshidratada en la superficie para evitar el desmoronamiento. El suero obtenido en este procedimiento se filtra al alcanzar el pH deseado. El pH del suero es un punto crítico en la manufactura de queso ya que dictamina la cantidad remanente de lactosa en las porciones de queso por lo tanto la cantidad de ácido láctico y el pH final del producto.

En este momento se puede seguir al paso de “cheddarizado” o también conocido localmente como hilado o *filatta*. Este proceso es el de calentar el queso en una salmuero a alrededor de 80 °C mientras se estira el queso con una paleta o algún utensilio similar. Lo que ocurre durante este proceso es la fusión de caseínas en fibras de mayor grosor con una pérdida en la micela y una pérdida parcial de la membrana de glóbulos grasos. La mayor fusión de las porciones de queso ocurre a un pH de 5.2 alcanzando así el mejor punto de estiramiento.

Para facilitar la adsorción de la sal, las porciones de queso son molidas en pequeñas partes y la sal es agregada. Esta forma de salar el queso es la más rápida para establecer un equilibrio de sal en el queso en lugar de sumergir el queso en una salmuera. El último paso para la mayor parte de quesos involucra el prensado de las porciones molidas a modo de remover el suero restante y lograr porciones homogéneas de queso; seguido por el envasado y la maduración.

Además, el proceso de manufactura de la mayoría de quesos se basa en una ruta general en la cual se modifican pequeñas etapas para obtener los diferentes tipos de queso. (Law, 2010)

Diagrama 2: Diagrama de flujo con pasos principales para la producción de quesos y algunas variantes para hacer distintos tipos.



(Law, 2010)

Como se mencionó anteriormente el queso de pasta hilada pertenece a la familia del queso mozzarella, por lo que para la manufactura del mismo se tendrá que proceder a fundir e hilar el queso.

Al estar elaborando un producto derivado del proceso de producción del queso mozzarella hay que comprender su producción y variantes del mismo. El queso mozzarella tiene dos principales variantes: de alta humedad con un periodo de vida corto y el de baja humedad con un periodo de vida largo y maduración. Originalmente este queso se procesaba con leche de búfalo, pero ahora existe el proceso para la leche de vaca.

El proceso para la elaboración de ambos tipos es similar y sigue la ruta demostrada en el diagrama 2. La diferenciación entre ambos es que el de alta humedad es preservado y salado en su suero, por lo cual tiene un periodo corto de vida, mientras que el otro luego de hilarse es almacenado y madurado por 10 a 15 días para que desarrolle sabor y la humedad restante se incorpore en la matriz proteínica, lo que permite rallar el queso más fácilmente.

Es común que para la fabricación del queso mozzarella que se utilice el suero de lotes de producción anteriores para acidificar la leche, sin embargo, con el proceso que se propondrá, se utilizará otra solución ácida.

1. Materia Prima

Para la producción de un queso de pasta hilada se requiere de las siguientes materias primas:

- Leche: En este punto puede utilizarse leche entera, media leche o leche reconstituida o leche descremada reconstituida con grasa vegetal. Provee la proteína que reaccionará con el cuajo para obtener el queso.
- Cuajo o rennet: Enzimas coagulantes para obtener la cuajada, por lo regular el más utilizado es la quimosina de origen bovino
- Sal: Reducción de suero en el queso
- Suero: Sub producto de la coagulación de la leche por medio del cuajo
- Regulador de acidez: Para regular la acidez del suero. Por lo regular para quesos de pasta hilada el pH ideal oscila entre 5.2 – 5.4. Se puede utilizar una solución de ácido cítrico
- Estabilizador o maltodextrina: Estabilizador pueden ser gomas guar, xanthan o carboximetil celulosa o maltodextrina. Cumplen la función de sustituto de grasa y de proveer textura al queso.

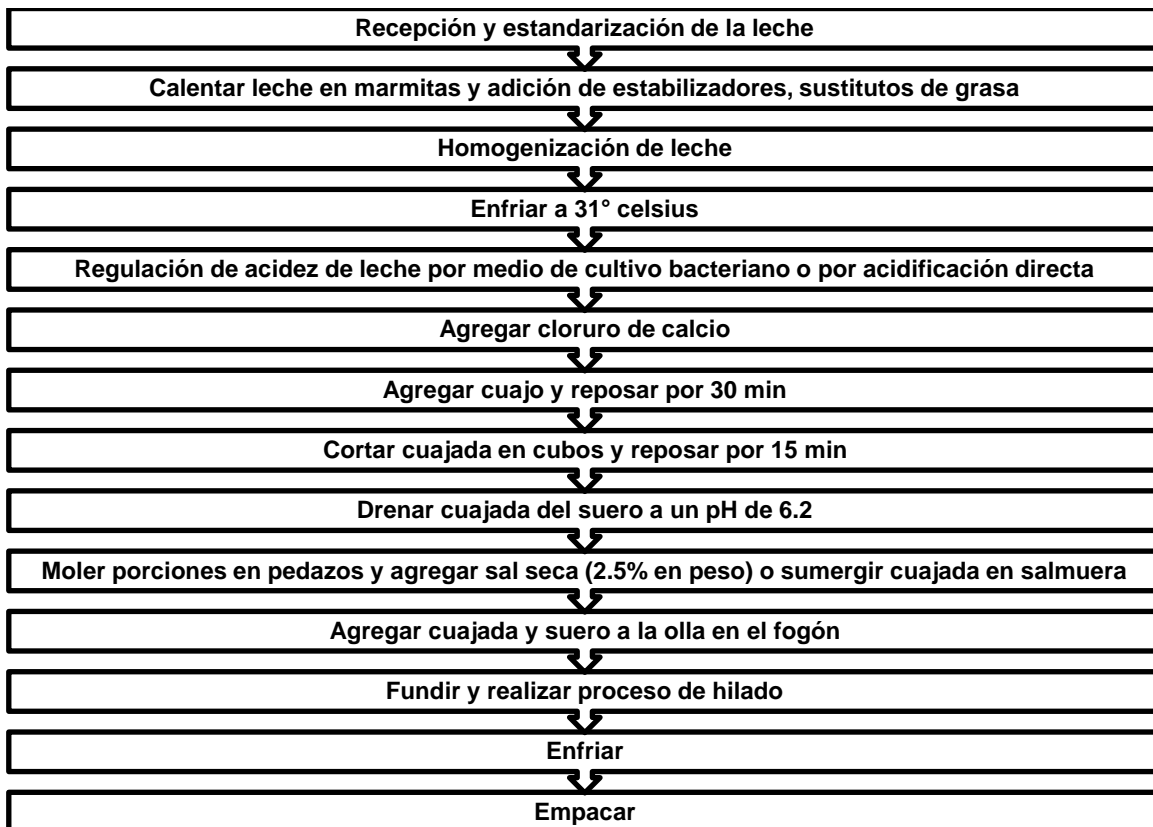
2. Proceso y equipo

Para la manufactura del queso de pasta hilada son necesarios los siguientes equipos:

- Contenedor para recepción y estandarización de leche

- Marmita para pasteurización y mezclado de leche
- Homogeneizador
- Intercambiador de calor para disminución de temperatura de leche
- Contenedor para coagular leche y separación posterior del suero
- Fogón o malaxadora para calentamiento e hilado final del producto

El proceso para la producción del queso de pasta hilada es el siguiente:



G. Características de calidad del queso

En general, la calidad del producto al consumidor final. Los criterios para evaluar la calidad del queso involucran distintos tipos de características como:

- Sensorial, como sabor, aroma, textura y apariencia
- Físico, como dureza, palatabilidad, facilidad para rodajear entre otros.
- Fundición, como coloración al exponer al calor, hilado
- Nutricional, contenido proteínico, graso, de calcio, lactosa y de sodio
- Químico, como ácidos grasos libres, amino ácidos libres y caseína
- Seguridad, como ausencia de patógeno, residuos tóxicos, cuerpos extraños (Law, 2010)

Para el aseguramiento de la calidad del producto es necesario poder tener criterios medibles que provean información del producto con base en su microestructura, composición, reología, propiedades sensoriales y aceptación del consumidor. Estos métodos difieren por tipo de queso. Pero algunos ejemplos son:

- Viscosidad bajo condiciones definidas
- Propiedades de cocimiento del queso, como flujo, estiramiento, o hilado
- Medición del rallado del queso
- Color

Para los parámetros sensoriales al momento de valorarlos es importante tener una escala estandarizada para determinar el grado de aceptabilidad del producto. La calificación de calidad (asignar valor numérico) sigue siendo el método más utilizado para la evaluación sensorial en la industria del queso. Donde se acepta o rechaza un lote de producto en base a la nota obtenida.

1. Reología y textura del queso

Debido a la dificultad y el alto costo de contar con panelistas entrenados para medir la textura del queso, se utilizan técnicas reológicas para medir la textura. Existe la utilización de la compresión de una muestra cilíndrica o cubica de queso entre dos placas paralelas de un analizador de textura y se comprime a un ritmo fijo. También existen penetrómetros o reómetros de oscilación para la determinación de la viscosidad de quesos suaves o frescos, mostrando la influencia de varios pasos claves como el tratamiento térmico, homogenización, enfriamiento en la textura del producto. (Law, 2010)

2. Colorimetría

La medida del color es importante en la industria alimenticia debido a que los consumidores lo relacionan con la frescura, o la seguridad y calidad del producto. Instrumentos de medición de color transforman o filtran un espectro reflejado para producir coordenadas de espacio de color reproducibles, como L^* (índice de blancura), a^* (índice de rojo) y b^* (índice de amarillo). Este proceso se usa rutinariamente en el control de calidad y en el desarrollo de producto para evaluar el color de la cuajada y el queso. El color del producto está relacionado a la dieta de la vaca, adición de colorante o tipo de queso. (Law, 2010)

3. Análisis de imagen

El análisis de textura por imagen se puede definir como la caracterización de la textura visual estimada por medio de algunos de los siguientes métodos. Una amplia

variedad de técnicas de imagen se encuentra disponibles para la industria alimenticia como escáner, microscopios de escaneo con láser, rayos x y componentes ultrasónicos.

Esta área en desarrollo tiene potencial para el control de calidad para propiedades como dureza, suavidad, brillo, granos, o rajaduras en el queso, para ayudar a un panelista o como única referencia. (Law, 2010)

Para el producto obtenido se realizará un análisis de control de calidad visual, donde se buscará la formación de ácidos grasos libres sobre la superficie del queso al fundirlo y liberación de humedad durante el periodo de almacenamiento. También se llevará a cabo un análisis de pH del suero resultante luego del posterior desuerado de la cuajada. En este análisis se podrá conocer el pH de la cuajada, el cual es un indicador fundamental para determinar el hilado del queso.

Diagrama 3: Factores que afectan calidad del queso



(Law,2010)

H. Consumo de leche y queso

De acuerdo a los datos más recientes proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en Guatemala, el año 2013 se elaboraron 10 millones de libras de queso, para consumo interno tanto para exportaciones. A esto también hay que tomar en cuenta que muchas queserías son artesanales y pueden no estar

siendo tomadas en cuenta en este dato. El mismo año el total de leche procesada fue de 36.5 millones de L para la elaboración de productos y subproductos lácteos. (INE, 2014)

A continuación, una tabla presentando la producción de quesos en el año 2013 por las pasteurizadoras:

Tabla 4: Quesos producidos por las pasteurizadoras en el año 2013, según mes.

Productos y subproductos lácteos									Mes
Quesos (libras)									
Cheddar	Crema	Fresco	De Capas	Oreado	Duro	Mozzarella	Kraft	Otros	
191,251	939,700	1,895,769	1,403,595	-	928,460	2,660,184	-	1,533,501	Total
7,312	74,735	136,949	71,743	-	67,750	206,626	-	180,078	Enero
6,510	77,278	169,555	113,981	-	75,527	198,695	-	155,090	Febrero
6,422	82,664	171,864	117,681	-	80,198	252,570	-	145,113	Marzo
35,290	77,758	196,544	133,783	-	90,638	195,031	-	135,828	Abril
35,555	79,242	197,182	133,401	-	97,052	204,230	-	141,254	Mayo
26,858	76,718	188,405	140,019	-	84,659	254,414	-	54,392	Junio
22,472	71,574	183,765	129,877	-	103,086	227,021	-	134,391	Julio
14,301	87,097	186,296	119,000	-	109,623	217,854	-	130,872	Agosto
17,920	70,452	137,145	110,590	-	94,298	215,672	-	116,845	Septiembre
6,639	78,101	135,520	132,240	-	73,536	250,684	-	129,681	Octubre
6,296	59,438	111,020	104,806	-	25,896	193,601	-	91,826	Noviembre
5,676	104,643	81,524	96,474	-	26,197	243,786	-	118,131	Diciembre

(INE, 2014)

Se puede observar en la Tabla 4 que el queso Mozzarella es el queso con mayor producción en Guatemala, siendo el queso de fresco y el queso de capas los siguientes en cuanto a volumen de producción. Conociendo esto se puede determinar que existe un mercado considerable para los quesos de pasta hilada.

De acuerdo con información proporcionada por el Banco de Guatemala, para la industria de los lácteos y sus derivados se tuvo un valor en las importaciones de 65 millones de dólares y un valor de aproximadamente 8.9 millones de dólares para las exportaciones, según el reporte del valor (fob) de las exportaciones por producto de la industria agropecuaria. (Banguat, 2014)

Adicionalmente, según datos del Banguat, las importaciones de productos lácteos han sido muy fuertes (2.99 millones primeros dos meses del 2018) lo cual demuestra que para el mercado internacional Guatemala representa un punto comercial importante. Los principales países que exportan a Guatemala son El Salvador y Estados Unidos, de los cuales la mayor parte de sus productos son de pasta hilada como el Monterrey Jack, Mozzarella, Quesillo, Cheddar.

I. Regulaciones nacionales e internacionales

1. Nacional y centroamericanas

A continuación, un conjunto de reglamentos en el ámbito nacional y centroamericano que aplican a la producción, manufactura, control microbiológico, inocuidad y todo lo relacionado los lácteos y derivados:

- Norma sanitaria para la autorización y control de fábricas procesadoras de leche y productos lácteos No. 001-2003
- RTCA 67.04.70:14. Productos lácteos. Quesos. Especificaciones
- RTCA 67.01.33:06. Industria de alimentos y bebidas procesados. Buenas Prácticas de
- Manufactura. Principios Generales.
- RTCA 67.04.50:08. Alimentos. Criterios Microbiológicos para la inocuidad de Alimentos
- RTCA.67.04.54:10. Alimentos y bebidas procesadas. Aditivos Alimentarios.
- RTCA 67.01.02:10 Etiquetado general de los alimentos previamente envasados
- RTCA 67.04.60:10. Etiquetado nutricional de productos alimenticios preenvasados
- RTCA 67.04.65:12. Uso de términos lecheros.

2. Internacional

A continuación, un conjunto de reglamentos en el ámbito internacional que aplican a la producción, manufactura, control microbiológico, inocuidad y todo lo relacionado los lácteos y derivados:

- CODEX STAN 239-2003: Métodos de análisis generales para los aditivos alimentarios
- CODEX STAN 234-1999. Métodos recomendados de análisis y muestreo.
- CODEX-STAN-A-006-1978. NORMA GENERAL DEL CODEX PARA EL QUESO. Rev.1-1999.

- CODEX ALIMENTARIUS Normas Alimentarias establecidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- CODEX STAN 283-1978: Norma general para el queso.
- CODEX STAN 262-2006: Norma para la mozzarella.
- CODEX STAN 206-1999: Norma para el uso de términos lecheros.

III. Antecedentes

Este trabajo está siendo aplicado a una empresa cuya labor es la manufactura de insumos orientados a la industria láctea en Guatemala. A esta empresa se le llamará como “la empresa manufacturera” y fue iniciada en 1982 debido a la creciente necesidad de materia prima e insumos para la producción de productos lácteos. Se buscó la creación de nuevos productos, al igual que la re adecuación de productos ya existentes. La empresa le provee a empresas de gran tamaño en la industria láctea guatemalteca al igual que a pequeñas empresas artesanales por medio de servicios de asesoría en desarrollo de productos y de procesos. Algunos de los productos que la empresa manufacturera provee son cremas comerciales, estabilizadores, sales fundentes, preservantes, cuajo y crema batida entre otros.

Con la producción de queso de pasta hilada la empresa manufacturera busca ampliar su cadena de valor y ofrecer producto al consumidor final. Entonces se desarrolla el queso de pasta hilada para introducir a la empresa manufacturera en el desarrollo de productos listos para el consumo final. Además, pretende alcanzar volúmenes masivos de producción para la industria culinaria y comercial.

El presente trabajo proporciona una formulación adecuada y aceptada en base a las características del producto, una línea de producción factible tomando en cuenta la infraestructura y el equipo disponible dentro de la empresa y una propuesta de automatización para la producción de este producto.

A continuación, se presenta la información de la empresa:

1. Equipo

El equipo disponible por la empresa es el siguiente:

Tabla 5: Equipo disponible en la empresa y características del mismo

Equipo	Capacidad	Material	Detalles adicionales
Milk Keeper	1800 L	Acero inoxidable	Chaqueta para refrigerar
Marmita enchaquetada	125 L	Acero inoxidable	Motor de Agitador con aspas tipo
Marmita enchaquetada	500 L	Acero inoxidable	Motor de Agitador con aspas tipo
Homogeneizador Manton Gaulin	1200 L/h	Válvulas: Acero inoxidable Ejes: Aleación de cobre Carcaza: Hierro	Presión alimentación 0.1-0.5 MPA Presión máxima de compresión: 60 MPA Motor de 20 hp
Intercambiador de calor de concha y tubos	1000 L/h	Acero inoxidable	-
Estufa de gas	25 kg de queso/lote	Acero inoxidable	-
Descremadora de leche	300 L/h	Acero inoxidable	-

2. Suministros

La empresa cuenta con disponibilidad de agua de acuerdo a la normativa COGUANOR NTG 29001 para agua potable para la producción de alimentos y derivados. La empresa cuenta con electricidad para la producción y para la maquinaria que posee. Cuenta con ambientes separados para la manufactura de alimentos. También cuenta con un cuarto frío que mantiene una temperatura constante de 5 grados Celsius durante el día y la noche.

3. Recurso Humano

La empresa cuenta con 4 operarios de producción que se distribuyen las labores de limpieza, pesado, envasado, manufactura y rotación de productos. Entre los cuatro operarios existentes se cuenta con horas/hombres disponibles para la producción del producto de queso de pasta hilada en los tiempos libres.

A continuación, un organigrama actual de la empresa:

Imagen 2: Organigrama de “La Empresa Manufacturera”

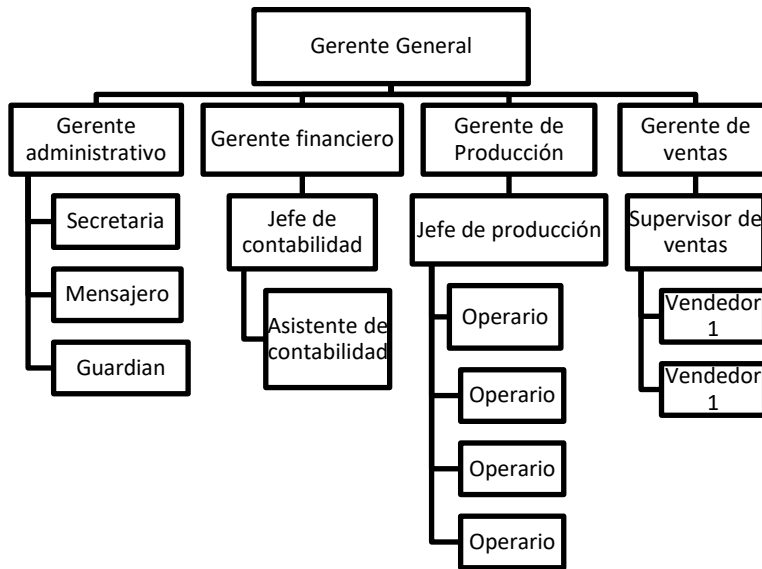
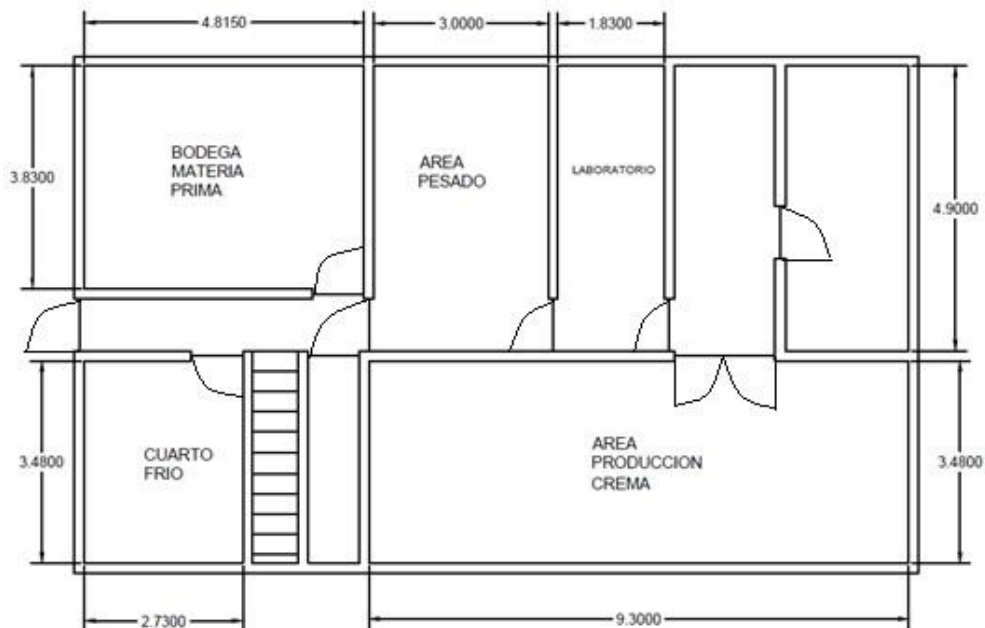


Imagen 3: Esquema del área de producción de la empresa



4. Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales de la empresa están compuestas por el agua de proceso, el agua de lavado o limpieza y el agua de uso sanitario. Los flujos de agua que son tratados a día de hoy son los de proceso y limpieza. Estos flujos de agua se recolectan en una caja y son tratados físicamente por una trampa de grasa, con lo

que se remueven restos de grasa del proceso y también se recuperan restos de cuajada o queso. En el fondo de la trampa de grasa también se concentran sólidos pesados que no son arrastrados por el afluente de aguas. Esta trampa recibe limpieza y mantenimiento periódico para evitar acumulación excesiva de materia atrapada.

Posteriormente las aguas residuales sin sólidos reciben un tratamiento orgánico en un bio reactor aeróbico donde se elimina la materia orgánica disuelta. Este mismo proceso aplica para el suero que resulta de la producción de queso, ya que la empresa no tiene aún una forma de utilizarlo como materia prima para otro producto. El sistema elimina los nutrientes y la carga orgánica del agua, para luego decantar el agua que ya se vierte a la red municipal de agua.

La grasa y los lodos obtenidos por este tratamiento son recogidos por una empresa que se dedica al tratamiento de dichos desechos orgánicos.

IV. Justificación

Este estudio se realizó con el propósito de conocer la factibilidad técnica de incluir un producto nuevo al catálogo de productos de una empresa ya existente en Guatemala.

Según los datos más recientes, en el año 2013 en Guatemala se procesaron 36.5 millones de litros de leche para la elaboración de productos y derivados de los lácteos. Con esto se produjo 15.7 millones de leche fluida y 10 millones de libras de queso en las cuales el queso mozzarella ocupa un 28% sin tomar en cuenta las pequeñas y medianas empresas responsables de la producción de queso artesanal.

A pesar de que en el mercado el consumo de queso fresco o queso duro es más frecuente y tienen un precio más accesible, las estadísticas presentadas en la Tabla 4 demuestran una alta demanda de quesos de tipo de pasta hilada, específicamente del tipo Mozzarella, siendo éste el de mayor producción para el año 2014. Esto se puede deber a que en Guatemala existe una creciente demanda por platos gastronómicos que incluyan quesos fundentes y por el consumo en el hogar. La creciente industria del sector de hotelería, catering y en restauración da una visión del aumento de demanda de este tipo de productos.

Por ende, la comercialización de un producto alternativo de menor costo como el queso de pasta hilada con grasa vegetal se muestra como un sustituto competitivo a nivel de calidad, aspecto y de menor precio que la mozzarella, abriéndole un mercado en el sector gastronómico de la restauración rápida o de menor costo, al igual que para aquellos hogares de clase media o baja que deseen incluir este producto en su dieta.

Esto es visto como una oportunidad por la empresa manufacturera, quien ya cuenta con los proveedores y las materias primas para la fabricación de este producto. También cuenta con un sistema de rutas de venta que le permite abarcar una gran parte de la República de Guatemala, ya que ésta tiene más de 30 años de experiencia en la industria láctea y derivados de Guatemala.

La amplia experiencia de sus trabajadores puede ofrecer una formulación eficaz a costo accesible y una solución adecuada para un mercado que está en crecimiento tanto en el consumo nacional como internacional. Además, la inclusión de este producto es la adición de un eslabón más a la cadena de valor dentro del área de producción, donde las materias primas e insumos formulados internamente se convertirán en producto para el consumidor final, buscando así una integración vertical que le permita ofrecer un producto de alta calidad a precios competitivos en un mercado altamente exigente como es el guatemalteco.

V. Objetivos

A. General

- Determinar la factibilidad de producir un queso de pasta hilada usando grasa vegetal a través de una acidificación química en una empresa existente.

B. Específicos

- Obtener tres formulaciones para queso de pasta hilada con las variables: porcentaje de grasa vegetal y porcentaje de estabilizador.
- Efectuar pruebas de aceptación para comparar las características organolépticas del queso obtenido de pasta hilada con quesos similares en el mercado.
- Realizar prueba piloto de producción utilizando la formulación elegida durante las evaluaciones de aceptación.
- Elaborar el diseño de la línea de producción con la formulación determinada del queso de pasta hilada utilizando grasa vegetal
- Elaborar el diagrama P & ID de la línea de producción para la fabricación del queso determinado.

VI. Metodología

Los pasos seguidos durante este trabajo fueron los siguientes:

1. Se investigó y contextualizó el sector quesero, proceso de producción y la empresa manufacturera.
2. Se formuló para la manufactura de queso fundente de pasta hilada usando grasa vegetal con el objetivo de obtener 3 formulaciones distintas.
3. Se realizaron pruebas de aceptación y se estableció la formulación de mayor preferencia en el mercado consumidor.
4. Se ejecutó prueba piloto en las instalaciones de la empresa manufacturera usando la formulación elegida en la evaluación de aceptación.
5. Se diseñó plano P & ID de la línea de producción.

A. Trabajo de investigación

Toda la recopilación de información para la manufactura de un queso de pasta hilada con grasa vegetal es importante para la comprensión de los factores a tomar en cuenta durante su formulación, elaboración y comercialización en Guatemala. Los aspectos investigados para definir el estado actual de la industria láctea-quesera en Guatemala fueron los siguientes:

- Consumo de queso y leche en Guatemala
- Manufactura de queso de pasta hilada
- Características de calidad del queso

B. Estado de la empresa

Se llevó a cabo una investigación del estado de trabajo de la empresa, recabando información en cuanto a la disponibilidad de maquinaria, capacidad de producción, horario de trabajo con el objetivo de implementar la producción de un nuevo producto. Se concluyó que la empresa cuenta con los recursos en términos de maquinaria, espacio, horas/hombre, horas/máquina, mano de obra y de materia prima para elaborar un producto de calidad y a escala semi industrial.

C. Diseño experimental

1. Formulación

Luego de la revisión bibliográfica se obtuvo la siguiente formulación para una base de 10 L de leche descremada:

- Leche descremada, 1.25 % m/m grasa. ¹

¹ Caracterización de la leche se encuentra en anexos.

- Cloruro de calcio, 0.0025 kg al 77% m/m de pureza mínimo.²
- Solución de ácido cítrico, 2.40 L al 10% m/m.³
- Crema análoga, (0.48 L – 0.63 L) con un 40% m/m de grasa.
- Estabilizantes, (0.004 kg – 0.011 kg), de una mezcla de almidón modificado y gomas alimenticias.
- Sal, 0.02 kg.

Tomando esta formulación base para un queso de pasta hilada sobre una base de 10 L de leche, se determinaron las cantidades de cada materia prima, tomando en cuenta la disponibilidad de ellas en el mercado al igual que los precios. Se parte de la premisa que las variables para la formulación deben ser el porcentaje de grasa del queso obtenido a partir de la crema análoga y los estabilizantes.

2. Elaboración de queso a pequeña escala

Se hicieron lotes de 10 L de leche descremada con 1.25% de grasa a escala de laboratorio donde se obtuvo tres quesos a partir de las formulaciones finales y llevó a cabo las evaluaciones de aceptación. Para la elaboración de los quesos a pequeña escala se siguió los siguientes pasos:

- Se midió la leche y su acidez a través de la acidez dornic, o décimas de ml de NaOH 0.1N para valorar 9 mL de leche.
- Se calentó la leche a una temperatura de 35 °C usando una estufa u hornilla.
- Se agregó 0.0025 kg de cloruro de calcio y se agitó durante 1 minuto al estar disuelto.
- Se agregó 2.40 L de solución de ácido cítrico al 10% mientras se agitaba suavemente la leche.
- Se dejó reposar la cuajada en el suero durante 15 minutos.
- Se midió la acidez del suero para confirmar que cumple con lo requerido.
- Se cortó la cuajada con un cuchillo y se separó del suero usando una manta para la preparación de quesos.
- Se recuperó, pesó y colocó la cuajada en una olla con calentamiento.
- Se agregó la crema análoga y sal a la cuajada.
- Se hiló la cuajada usando una paleta y fundirla a 65°C hasta que alcanzó una textura homogénea, sin grumos.
- Se sacó la cuajada de la olla, se dejó enfriar, empacó y almacenó.

Este procedimiento base fue usado para la primera formulación. Las otras dos formulaciones tuvieron las siguientes modificaciones:

- Fórmula con mayor porcentaje de grasa: se le agrega la cantidad de grasa

² Caracterización se encuentra en anexos.

³ Caracterización se encuentra en anexos.

adicional durante el proceso de hilado, junto con la crema y la sal.

- Fórmula con mayor porcentaje de estabilizantes: Los estabilizantes se añaden durante el inicio del proceso de hilado del queso, en conjunto con la crema y la sal.

D. Evaluaciones de aceptación de muestras de queso

Los quesos obtenidos durante las pruebas a pequeña escala fueron sometidos a una evaluación sensorial para determinar el queso que debe de ser producido a escala de prueba piloto.

En cuanto a las evaluaciones de aceptación, se realizó primero una prueba de preferencia en la cual el usuario elige el queso de preferencia e indica la razón por la cual lo prefiere. Luego se realiza una prueba comparativa entre el queso de mayor preferencia y un queso similar que se encontró en los super mercados. Para esto fue necesario:

- Determinar especificaciones a tomar en cuenta en la prueba
- Determinar población
- Preparar la hoja de evaluación
- Efectuar evaluaciones
- Análisis de resultados

Las especificaciones que se tomaron en cuenta para la prueba fueron:

- Laboratorio de evaluación: La evaluación de aceptación se realizó en un laboratorio adecuado, de color blanco, con buena iluminación. Contó con cubículos, con acceso a una ventana por donde se pasa las muestras. Cada cubículo tenía con un lavadero y espacio para poder llenar las evaluaciones. Se realizó la evaluación en el Laboratorio de evaluación sensorial de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Explicación de proceso a seguir por el evaluador: Se le explicó al evaluador como se llevará a cabo la valoración, factores a tomar en cuenta, como llenar la hoja de evaluación y qué hacer al terminar la prueba
- Preparación de muestra: Las muestras de queso fueron fundidas en un horno microondas y luego fueron colocadas en platos de duroport. Todas las muestras han sido del mismo tamaño, en este caso de 2 gramos. Todas las muestras fueron identificadas por un número de tres dígitos en el plato de duroport. A cada evaluador se le proporcionó un vaso con agua para que limpiara su paladar luego de catar el queso. Durante todo el proceso, la persona encargada de preparar y pasar las muestras a los evaluadores tuvo una bata blanca, redcilla, guantes y mascarilla para asegurar la inocuidad durante las pruebas.
- Presentación de muestra a evaluador: Cada evaluador recibió dos muestras

de queso por cada hoja de evaluación. Estas muestras se pasaron a través de la ventana que hay en los cubículos colocadas en una bandeja.

- Llenado de hoja de evaluación: Cada evaluador llenó la hoja de evaluación donde colocan cuál es su muestra preferida y la razón por la cual la prefirió.
- Retornar hoja de evaluación completada: Al completar la hoja, los evaluadores han devuelto la bandeja junto con las evaluaciones por la ventana para que el encargado de preparación de la muestra la reciba.
- Se repitió hasta finalizar las tres evaluaciones

La población para ambas evaluaciones de aceptación fue de un total de 100 personas para cada una. Las personas estuvieron en un rango de edad entre 20 – 70 años, ya que en este rango se puede considerar a las personas como consumidores activos en tiendas de conveniencia.

Para las hojas de evaluación de la primera prueba se colocó los números correspondientes a los quesos que se están evaluando. Cada hoja tenía dos números de tres dígitos y se le indicó al evaluador que debe circular su muestra preferida y luego indicar la razón de su elección. Los evaluadores llevaron a cabo tres pruebas, por lo tanto llenaron tres hojas.

Para la evaluación sensorial comparativa a los evaluadores se les presentó una serie de atributos, donde colocaron qué muestra de queso cumple mejor con el atributo descrito. Al final, al igual que en la prueba anterior, indicaron la muestra de preferencia y la razón por la cual la prefiere.

Las evaluaciones se llevaron a cabo durante dos días, para realizar la prueba de preferencia el primer día. Con los resultados del primer día se escogió la formulación que los evaluadores prefirieron para efectuar la prueba comparativa el segundo día con una muestra de queso comercial.

Los resultados de la primera prueba fueron analizados y ordenados al finalizar las pruebas. De estos resultados se obtuvo la formulación final para efectuar la prueba piloto en la empresa. De igual manera a partir de este análisis se obtuvo un porcentaje de preferencia para cada queso, el cual fue el indicador para determinar cual tuvo la mayor preferencia. Para la prueba comparativa, los resultados se analizaron al finalizar el segundo día de evaluaciones, con lo que se preparó un perfil radial para visualizar cómo la población percibió los atributos de los quesos.

E. Ejecución de prueba piloto

El diseño de la prueba piloto fue tomando en cuenta los equipos, utensilios, suministros y materias primas ya existentes en la empresa manufacturera. Esta prueba piloto fue dentro de las instalaciones de la empresa manufacturera al igual que con el personal que labora dentro de la misma. El propósito fue incluir la prueba dentro de un día normal de trabajo, optimizando los tiempos muertos que se tienen durante el día para darle cabida a este nuevo producto. Para poder lograr esto fue necesario diseñar el flujo de los materiales, su preparación, disponibilidad de materia prima y de limpieza.

Los pasos que se siguieron para la prueba piloto son:

- Recepción de leche en milk keeper
- Medición de acidez titulable en la leche
- Medición de 100 L de leche (103.5 kg) usando una cubeta con medidas volumétricas y agregarla a marmita
- Calentar la leche en la olla enchaquetada hasta 35 °C
- Trasladar la leche a la burula de 225 L
- Agregar el cloruro de calcio y agitar durante 5 minutos.
- Medir la solución de ácido cítrico y tenerla lista en una cubeta
- Agregar solución de ácido cítrico mientras se agita suavemente
- Luego de agregar la totalidad del ácido cítrico, dejar reposar cuajada durante 15 minutos.
- Medir la acidez del suero y si ésta cumple continuar con el resto de pasos. De no cumplir se desecha y se inicia de nuevo.
- Separar la cuajada del suero usando una manta y pesar la cuajada en balanza
- Colocar la cuajada en un fogón y perol para iniciar el proceso de hilado
- Agregar la crema, la sal y los estabilizantes al queso
- Calentar hasta fundir la cuajada, hilarla hasta que la textura sea lisa y suave. Verificar que no exista presencia de grumos en el queso
- Retirar queso del fogón, para colocarla en mesa de trabajo de acero inoxidable y dejar enfriar. Empacar y almacenar.

F. Diseño de automatización del proceso

A medida que la demanda de un producto aumenta, los costos de producción y los volúmenes de producción también. Por lo tanto, la automatización cobra una importancia significativa, ya que ésta permite la realización y control de grandes volúmenes de producción minimizando el margen de error del factor humano, minimizando costos y asegurando la calidad del producto. Para la propuesta de

automatización del proceso fue importante:

- Se conocieron los aspectos claves para la producción del queso de pasta hilada
- Se establecieron las variables críticas que influyen directamente a la calidad del producto
- Se crearon lazos de control que permitan la optimización del proceso

Se buscó la inclusión de transmisores y controladores que proporcionaron información y también pudieron controlar aspectos de la línea de producción. La creación de lazos de control que manejen partes del proceso sin necesidad de la intervención de una persona optimiza el tiempo, disminuye las horas hombre necesarias y evita errores.

G. Análisis estadístico

La mejor forma de demostrar estadísticamente la capacidad de un proceso de ser homogéneo y reproducible es a través de un análisis intrabatch e interbatch con suficientes datos. En el análisis intrabatch se analiza el comportamiento de los análisis fisicoquímicos del producto en cada lote. Mientras que en el análisis interbatch se estudia el comportamiento de los resultados entre todos los lotes de manufactura que ha producido la empresa.

En este caso, debido a que únicamente se realizaron tres lotes a pequeña escala y dos pruebas piloto, no existe suficiente información para hacer un análisis de normalidad y capacidad del proceso. Por lo que se realizó un estudio de promedios y desviación estándar.

Este estudio de promedios y desviación estándar demostró la repartición de los primeros resultados para los lotes a pequeña escala previos a las pruebas piloto y son una referencia para el análisis estadístico que se realizara con los datos históricos que se recaudaran durante un año de producción. A continuación, se presentan los datos y el análisis estadístico aplicado para las pruebas a pequeña escala.

Tabla 6: Promedio y desviación estándar del rendimiento en la producción a pequeña escala del queso

Queso	Rendimiento práctico [kg queso/kg leche]	Promedio	Desviación estándar
1	0.11	0.123	±0.015
2	0.12		
3	0.14		

La desviación estándar fue de 0.015 ya que se obtuvo valores cercanos durante las corridas. Estos datos y los resultados del análisis para las pruebas piloto se presentan en el apartado de resultados.

VII. Resultados

A continuación, se presentan los resultados del trabajo final.

Tabla 7: Descripción de pruebas en queso a pequeña escala

Queso	Descripción
1	Queso con 13.5% grasa y 0.3% estabilizantes
2	Queso con 18% grasa y 0.3% estabilizantes
3	Queso con 13.5% grasa y 0.8% estabilizantes

Nota: Todos los % son en m/m

En la tabla anterior se muestran los rangos de variabilidad para la concentración de grasa y de estabilizantes para las pruebas a pequeña escala del queso de pasta hilada.

A continuación, se muestra la formulación base para todas las pruebas a pequeña escala y los volúmenes de crema análoga y masa de estabilizantes que se usaron en cada formulación.

Tabla 8: Formulación base para las pruebas a pequeña escala

Producto	Cantidad
Tamaño de lote	10 L leche
Leche descremada, 1.25% grasa	10 L
Cloruro de calcio, pureza 77%	0.0025 kg
Solución ácido cítrico al 10% m/m	2.40 L
Sal	0.02 kg

Tabla 9: Volumen de crema análoga y masa de estabilizantes añadido a cada formulación de queso en las pruebas a pequeña escala

Formulación	Volumen de crema análoga	Masa de estabilizantes
1	0.48 L	0.004 kg
2	0.63 L	0.004 kg
3	0.48 L	0.011 kg

Tabla 10: Rendimiento en pruebas de queso a pequeña escala a partir de 10 L de leche

Queso	Rendimiento práctico [kg queso/kg leche]	Desviación estándar	Rendimiento teórico [kg queso/ kg leche]	Variación [kg queso/ kg leche]
1	0.11	±0.015	0.20	0.09
2	0.12		0.20	0.08
3	0.14		0.20	0.06

A continuación, se presentan los resultados de las evaluaciones sensoriales realizadas. Estas evaluaciones sirvieron para definir la formulación preferida por los panelistas y sobre la cual se basaría el resto del trabajo de investigación.

Tabla 11: Porcentaje de preferencia entre muestra de queso 1 y 2 en evaluaciones sensoriales de pruebas a pequeña escala

Queso	Porcentaje preferencia [%]
1	58
2	42

Nota: Esta prueba fueron realizadas a través de una evaluación sensorial llevada a cabo en la Universidad del Valle de Guatemala con un total de 100 panelistas.

Tabla 12: Porcentaje de preferencia entre muestra de queso 2 y 3 en evaluaciones sensoriales de pruebas a pequeña escala

Queso	Porcentaje preferencia [%]
2	65
3	35

Nota: Esta prueba fueron realizadas a través de una evaluación sensorial llevada a cabo en la Universidad del Valle de Guatemala con un total de 100 panelistas.

Tabla 13: Porcentaje de preferencia entre muestra de queso 1 y 3 en evaluaciones sensoriales de pruebas a pequeña escala

Queso	Porcentaje preferencia [%]
1	68
3	32

Nota: Esta prueba fueron realizadas con una evaluación sensorial llevada a cabo en la Universidad del Valle de Guatemala con un total de 100 panelistas.

A continuación, se muestra la formulación y el resultado del rendimiento de la producción del queso de pasta hilada en las pruebas piloto.

Tabla 14: Formulación del queso de pasta hilada para las pruebas piloto

Producto	Cantidad
Leche descremada, 1.25% grasa	100 L
Cloruro de calcio, pureza 77%	0.025 kg
Solución ácido cítrico al 10% m/m	24.0 L
Sal	0.23 kg
Crema análoga	4.75 l
Estabilizantes	0.04 kg

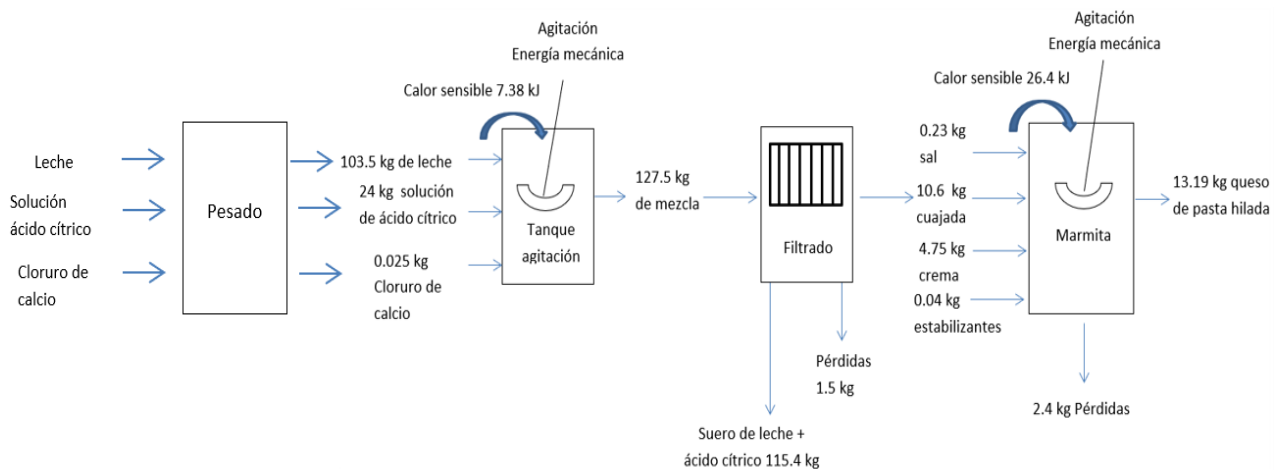
Tabla 15: Rendimiento en producción de queso en prueba piloto a partir de 100 L de leche para el queso 1

Número de Corrida	Rendimiento práctico [kg queso/kg leche]	Rendimiento teórico [kg queso/kg leche]
1	0.13	0.20
2	0.13	0.20

A continuación, se muestra el esquema del proceso sobre una base de 100 L de leche descremada para la prueba piloto realizada en la empresa.

Diagrama 4: Esquema del proceso para las pruebas piloto

Base: 100 L de leche



A continuación, se muestra el esquema propuesto para la fabricación del queso de pasta hilada, seguido por la identificación del equipo presente en este diagrama junto con sus datos de placa.

Diagrama 5: Esquema de la línea de proceso propuesto para la elaboración del queso

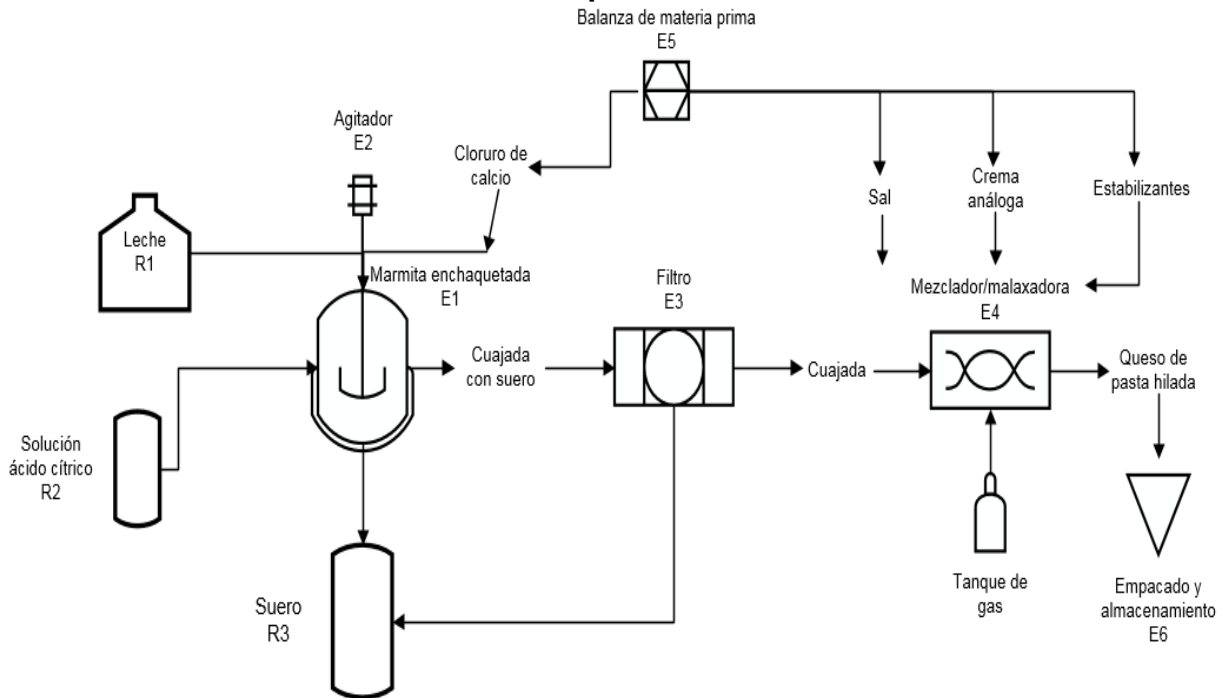


Tabla 16: Identificación de equipo presente en el diagrama de flujo

Código	Equipo	Datos de placa
R1	Milk keeper	Capacidad: 1800 L Material: Acero inoxidable
R2	Recipiente para solución de ácido cítrico	Capacidad: 100 L Material: Polietileno
R3	Recipiente para suero	Capacidad: 100 L Material: Polietileno
E1	Marmitta enchaquetada	Material: Acero inoxidable Capacidad: 125 L Equipo de calentamiento Cantidad de resistencias: 2 Capacidad: 1500 W cada una Material: Cobre
E2	Agitador	Material: Acero inoxidable Tipo de propela: Gate Anchor

Código	Equipo	Datos de placa
E3	Filtro	Material: Acero inoxidable Capacidad: 100 L
E4	Mezclador/malaxadora	Material: Acero inoxidable Capacidad: 150 kg/hora Marca: Milky lab
E5	Balanza de materia prima	Capacidad: 25.0 kg \pm 0.01 Material: Acero inoxidable Marca: Tecnipesa
E6	Empacado	Marca: Torrey Material: Acero inoxidable

Posterior a esto, se realizó una propuesta de plano P&ID para la línea de producción a nivel industrial para la empresa. Para realizar esta propuesta se analizaron las variables críticas del proceso de fabricación. Estas son presentadas por el tipo de variable a medir y el equipo donde hay que medirlas. Se pueden observar en la tabla a continuación.

Tabla 17: Variables críticas en proceso de producción de queso de pasta hilada

Variable	Equipo
Temperatura	Marmita, tanque de agitación enchaquetado
Nivel	Marmita, tanque de agitación
pH	Tanque recepción, marmita, tanque agitación
Tiempo	Tanque agitación,

Luego se diseñaron los lazos de control (denominados LC), el código y el tipo de accesorio que se coloca en la línea de producción. La lista con los códigos, los tipos de accesorio según su variable se presentan a continuación:

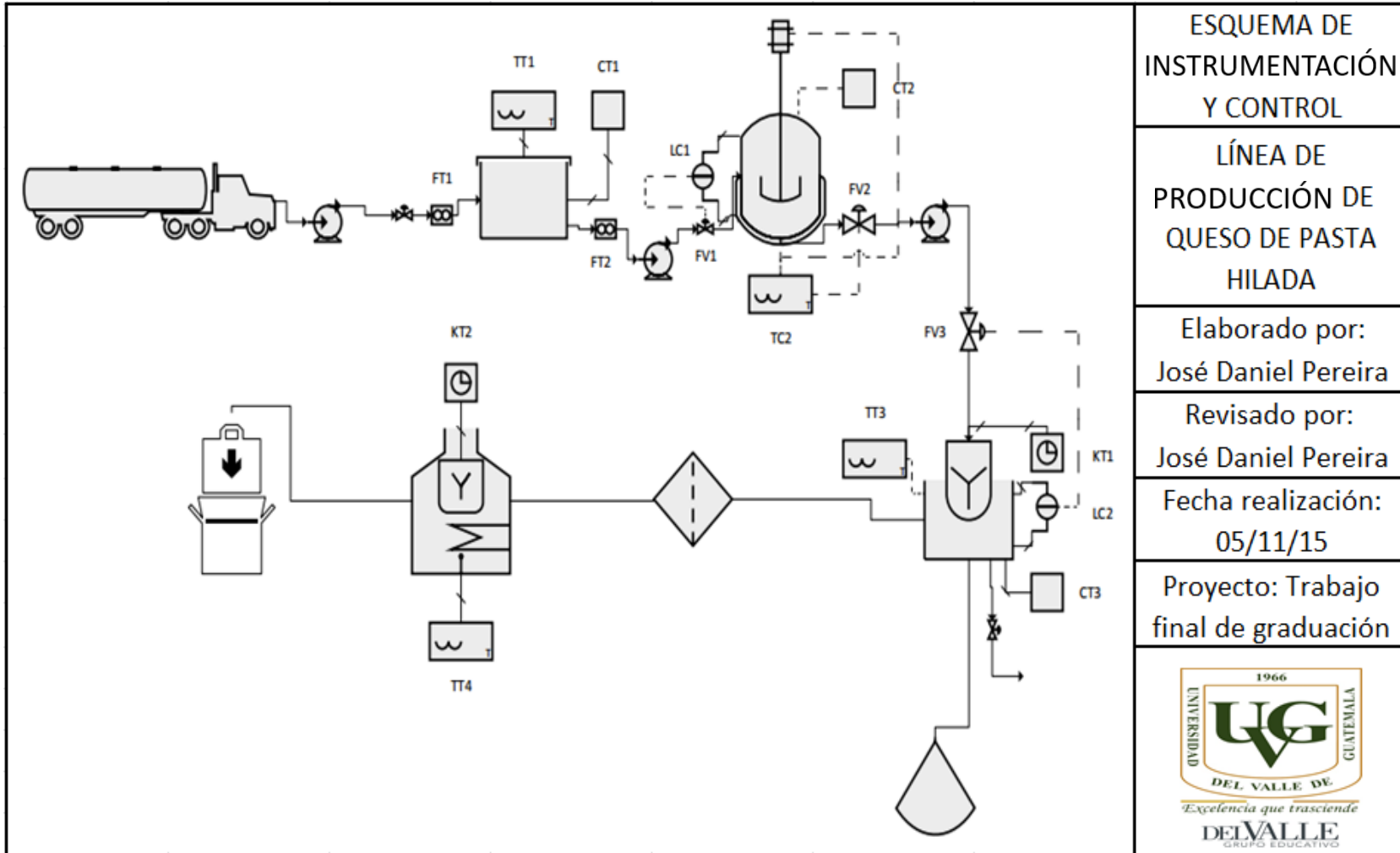
Tabla 18: Guía de instrumentación en esquema P& ID

Código	Equipo presente	Material	Variable medición	Tipo
FT1	Tubería a tanque recepción	Acero inoxidable	Flujo	Transmisor
TT1	Tanque recepción	Acero inoxidable	Temperatura	Transmisor
CT1	Tanque recepción	Acero inoxidable	pH	Transmisor
FT2	Tubería a marmita	Acero inoxidable	Flujo	Transmisor
FV1	Tubería a marmita	Acero inoxidable	Válvula	Válvula
LC1	Marmita	Acero inoxidable	Nivel	Controlador
CT2	Marmita	Acero inoxidable	pH	Transmisor
FV2	Tubería a tanque agitación	Acero inoxidable	Válvula	Válvula
TC2	Marmita	Acero inoxidable	Temperatura	Controlador
FV3	Tubería a tanque agitación	Acero inoxidable	Válvula	Válvula
TT3	Tanque agitación	Acero inoxidable	Temperatura	Transmisor
KT1	Tanque agitación	Acero inoxidable	Tiempo	Transmisor
LC2	Tanque agitación	Acero inoxidable	Nivel	Controlador
CT3	Tanque agitación	Acero inoxidable	pH	Transmisor
KT2	Fogón	Hierro	Tiempo	Transmisor
TT4	Fogón	Hierro	Temperatura	Transmisor

A continuación, se presenta el plano P&ID diseñado para esta línea de producción, con su codificación y los lazos de control en las líneas punteadas.

Imagen 4: P & ID propuesto para la línea de producción para la fabricación de queso de pasta hilada

Base: 1000 L procesados de leche



VIII. Discusión de resultados

El objetivo del presente trabajo fue determinar la factibilidad técnica de la producción de un queso de pasta hilada por medio de una acidificación química en una empresa manufacturera. Para esto se requirió la formulación de un queso de este tipo partiendo de una fórmula general. Fue necesario partir de la elaboración de queso a pequeña escala o a escala de laboratorio. Posterior a la determinación de la formulación preferida, se realizó una prueba piloto para tener mejor perspectiva de la producción del queso a una escala mediana o grande y hasta qué punto esto es posible dentro de las instalaciones de la empresa manufacturera.

Los lácteos es una industria altamente tecnificada a nivel mundial, sin embargo, en Guatemala una gran cantidad de productores mantienen procesos de tipo artesanal, que por lo regular implica baja inversión y bajo costo de mantenimiento. De la producción de lácteos, el producto más consumido luego de la leche es el queso. El queso, un producto obtenido de la coagulación de la proteína de la leche, es un producto altamente popular. Según lo reportado por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en los datos más recientes, se reportó la producción de alrededor de 10 millones de libras de queso, para consumo local e importación. Esto es sin tomar en cuenta que una gran parte de la producción de lácteos se realiza artesanalmente, en micro productoras o productoras de barrio. Se puede asumir que el dato real es mayor que el reportado por la INE.

Para iniciar, es importante tener una formulación base para un queso de pasta hilada. Con esto se obtiene partes importantes del proceso, al igual que la materia prima a utilizar. Law, 2010, brinda un diagrama (diagrama 2) para la producción de quesos, demostrando como este proceso varía según el tipo de queso que se desee hacer, partiendo de un proceso general. Según Montero, 1983, un queso de tipo mozzarella debe tener un porcentaje de grasa entre 8% - 18% m/m. Por lo tanto, se formuló un queso cuyo porcentaje de grasa oscile dentro de ese rango.

En total, se elaboraron tres formulaciones para llevarlas a cabo a pequeña escala. El porcentaje de grasa para las pruebas fue entre 13.5% m/m para asemejar el producto a un queso mozzarella normal y a 18% m/m para cubrir el mayor rango de grasa para un queso tipo mozzarella.

Tamime, 2007 trata el tema de los sustitutos de grasa para mejorar rendimiento y disminuir contenido graso del queso. La inclusión de sustitutos de grasa resulta atractiva debido a que dentro de la empresa manufacturera se cuenta con estabilizantes que cumplen con esta función. Para poder medir cómo los estabilizantes afectan la calidad del queso se incluyeron dentro de la formulación a una concentración de 0.3% – 0.8% a modo de no exceder el máximo que indica

Tamime, 2007. Con esto se logró la formulación de tres tipos de quesos distintos para producirlos a pequeña escala.

Para la producción del queso de pasta hilada se usará el método de acidificación química, también conocido como acidificación directa. Este método entra en sustitución al usado más comúnmente, la coagulación enzimática (cuajo). Para que el queso cumpla con su función de hilar y fundir debe de cumplirse con la acidez de la cuajada. Esta acidez debe estar entre un rango de pH de 5.2-5.4 según Law, 2010. Si la acidez de la cuajada cae fuera de este rango, el queso no hilará. Equivalente a esto se tiene la medida de acidez llamada grados Dornic, que es una acidez titulable y para este rango nos indica Moreno que debe ser entre 28 – 38 °D. Para alcanzar esta acidez, se usó una solución de ácido cítrico al 10% producida en la planta de producción.

Al tener listas las concentraciones de grasa que debe tener el queso y el porcentaje de estabilizantes, se diseñaron pruebas a pequeña escala a modo de evaluar las características de cada uno. Las tres pruebas a pequeña escala se llevaron a cabo a modo de evaluar el rendimiento, procedimiento y adición de solución de ácido para coagular y nivelar el pH. La formulación con grasa 13.5% y estabilizantes 0.3% es la muestra de queso 1. La muestra de queso 2 tiene porcentaje de grasa de 18.0% y estabilizantes 0.3% y la última tiene un contenido de grasa de 13.5% y estabilizantes de 0.8%.

Durante el procedimiento del queso la acidez inicial de la leche con la que se trabajó fue baja, rondando los 11 °D. Esto significa un incremento en el volumen a añadir de la solución de ácido cítrico. A las cuales se les tuvo que agregar alrededor de 2.4 L de la solución para poder obtener una acidez del suero recién cortado de alrededor de 28°D. A medida que la acidez de la leche aumenta, es menor la cantidad de ácido necesaria para poder coagular la proteína de la leche, la paracaseína.

Como es posible ver en la Tabla 17 de los anexos, el rendimiento para los quesos fue similar, teniendo un promedio de 0.12 kg queso por cada kg de leche con una desviación estándar de ± 0.015 . Este proceso muestra un coeficiente de variación del 12%, donde a pesar que las pruebas mantuvieron un rendimiento similar, resulta algo elevado dado que solo se realizaron 3 formulaciones. Posibles causas de esto es la incertidumbre de los instrumentos de medición. La única prueba que tuvo un rendimiento arriba de la media fue la formulación de queso 3. Esta obtuvo un rendimiento de 0.14 kg queso/ kg leche, lo cual se debe a que, por el alto contenido de estabilizantes, dentro de los cuales hay una mezcla preparada de almidón modificado y gomas, se atrapó agua proveniente del suero, que en ocasiones normales se hubiera separado y evaporado en el fogón. Este suero

atrapado por la cuajada debido a estos estabilizantes aumentó el rendimiento del queso.

El rendimiento del queso también tuvo un resultado positivo gracias a la adición del cloruro de calcio. Este producto se encarga de balancear los niveles de calcio presentes en la leche por cualquier deficiencia de calcio que presente la leche. El cloruro de calcio disminuye el pH de la leche, reduce el tiempo de coagulación y aumenta la firmeza del queso. Esto es debido a que el calcio se une a las micelas de caseína, reduciendo cualquier fuerza repelente entre ellas, promoviendo las interacciones hidrofóbicas.

Durante la elaboración de las tres formulaciones se pudo observar que para el queso con la formulación 1 (Foto 5) se tuvo un buen aspecto y textura durante el hilado y después de la incorporación de la crema, proveyendo al queso de una suavidad, color y textura lisa. El queso con la formulación 2, 18% m/m de grasa, tuvo un aspecto del queso, tanto durante su hilado como al enfriarse. Durante el proceso de hilado, la grasa añadida en forma de manteca tuvo una incorporación dificultosa (Foto 6). Después de un extenso tiempo de hilado y manipulación mecánica se logró un aspecto más homogéneo, menos grasoso (Foto 8). Para la formulación de queso 3 se denota que añadir los estabilizantes provoca la creación de grumos en la cuajada, para lo cual se requiere un mayor esfuerzo mecánico y mayor hilado a modo que los grumos pudieran homogenizarse en la cuajada (Foto 7).

Las tres muestras de queso obtenidas fueron almacenadas en una cámara fría a una temperatura de aproximadamente 5 °C. Estos quesos permanecieron en maduración por un día para que su sabor mejorara. Luego del día de almacenamiento se re-inspeccionaron los quesos, teniendo al queso con la formulación 1 como un producto de color amarillo natural, suave y con una baja capacidad de rallarse debido al contenido de humedad y grasa. Para el queso con la formulación 2 se observan ojos de grasa en la superficie del queso, indicando que no se logró una incorporación completa al queso. Al cortarlo e inspeccionarlo más a detalle se pudo encontrar ojos de grasa dentro del queso. El queso se mantuvo suave, pero con poca capacidad de rallarse. El queso con la formulación 3 (13.5% grasa y 0.8 % estabilizantes) mostró un color más blanco, sin ojos de grasa, una textura suave y una capacidad de rallado aceptable.

Estas tres formulaciones de queso producidas a pequeña escala fueron puestas a prueba de aceptación. Las evaluaciones se llevaron a cabo durante dos días dentro de las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala en el Laboratorio de análisis sensorial. Las tres muestras fueron comparadas en una prueba de preferencia pareada. Resultado de esto se obtuvieron porcentajes de preferencia entre todas las formulaciones.

Comparativamente, entre las formulaciones 1 y 2 se puede observar una mayor preferencia hacia la formulación 1 con un porcentaje de 58% en comparación a la formulación dos con 42%. Entre las razones por la cual los evaluadores destacaron su preferencia por el queso con la formulación 1 con un mejor sabor, sabor más natural a queso y una mejor textura al paladar y en dureza. Resalta que también a los evaluadores les pareció agradable el contenido de sal presente en la muestra de queso con la formulación 1.

Para la prueba de preferencia entre el queso de la formulación 2 y 3, se obtuvo un porcentaje de preferencia mayor para el queso 2 con un 65% en comparación al 35% del queso 3. Las razones de esta diferencia, según los evaluadores son una mejor textura en el queso con la formulación 2, se pegaba menos al paladar, más suave. Sin embargo, también se hace mención al sabor ya que indican que, al tener un mayor contenido graso, tiene un mejor sabor. Para la prueba entre el queso con la formulación 1 y 3, se obtiene un porcentaje favorable para el queso 1 con 68%. Las razones de esto fueron un mejor sabor, mejor color (más amarillo) y mejor textura. En este punto mencionaron que el queso con la formulación 3 (13.5% y 0.8 estabilizantes) se siente más sintético o plástico.

Luego del análisis de resultados se obtuvo que el queso preferido por los evaluadores fue el de la formulación 1 (13.5% grasa y 0.3% estabilizantes). Este queso también fue sometido a una evaluación sensorial, pero de tipo descriptivo. Este queso fue comparado con un queso comercial comprado en un super mercado, con características similares (queso fundente, para pizza, pero usando grasa butírica). En esta evaluación se evaluaron atributos directos que tomaron importancia en las primeras evaluaciones, como mejor sabor, salado, textura, estiramiento. Al igual que el anterior también cuál era su preferido y porqué. En estos resultados se pudo ver un porcentaje de preferencia del 37% del queso con la formulación 1 y del 63% del queso de origen comercial. Entre las razones por esto fue principalmente un mejor sabor y textura.

Con los resultados de los atributos evaluados se realizó un perfil radial comparativo de ambos quesos (Gráfica 4 en los anexos), en el que se puede ver que el queso comercial tuvo una mejor textura, sabor, y contenido de sal. El queso formulado tuvo un mejor estiramiento y el evaluador le consideró como un queso más chicloso.

Obtenido esto se procedió a la realización de una prueba piloto dentro de la planta de producción. Para esta prueba piloto se realizaron dos corridas, usando equipo, materias primas, espacio y el personal de la empresa. La empresa cuenta con documentación interna que asegura la ejecución y cumplimiento de las buenas prácticas de manufactura y la licencia sanitaria proporcionada por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Las corridas se llevaron a cabo el mismo día, dentro de un día de trabajo normal, a modo de poder reacomodar el horario y confirmar que es posible la inclusión de estas pruebas sin necesidad de extender el día de trabajo. La duración de ambas corridas fue de aproximadamente 3 horas y media. Este tiempo incluye desde la recepción de la leche, 200 L, hasta el empacado final y almacenamiento de ambos quesos obtenidos. El propósito de la realización de dos corridas a nivel de prueba piloto es asegurar la repetitividad de las pruebas.

Para la realización de las pruebas se utilizó el equipo de la empresa, como se puede ver en los anexos el listado. De estos equipos el único que no fue utilizado fue la descremadora, debido a que la leche obtenida ya era descremada con un porcentaje de grasa del 0.5%. Debido a la importancia que implica la adición de una nueva línea de producción a una empresa que aumenta la cadena de valor de la misma, se realizaron balances de masa y energía para el equipo de la empresa.

Se buscó obtener alrededor de 11 a 12 kg de queso por cada prueba realizada, tomando como base los rendimientos de las pruebas a pequeña escala. Con esta cantidad se podrían producir alrededor de 24 unidades de queso. Para esta producción se necesitan 200 L de leche descremada. Se consideran las pérdidas de cuajada y de queso en las burulas, mantas y fogón, por lo que el rendimiento del queso puede disminuir a aproximadamente 22 unidades de queso de 0.45kg (1 libra).

Para el balance de energía se determinó el consumo de combustible usando una balanza y midiendo la cantidad de gas propano utilizado durante el calentamiento de la leche y durante el calentamiento de la cuajada para su fundición. Para este cálculo se obtuvo el lower heat value del gas propano con el proveedor, el cual es de 46.4 MJ/kg. Pesando la masa de gas usada para el calentamiento de la leche, al igual que el usado para la fundición del queso se puede obtener el balance de energía, ya que al no existir piezas móviles mecánicas (toda agitación se hace a mano) por el bajo volumen de producción, se puede determinar que $\Delta H = Q$. Debido a la forma de calentamiento existe una parte de calor que se pierde al ambiente, sin embargo, las pérdidas son incluidas sabiendo el peso total de gas que se usó para las pruebas.

Para el balance de masa, se realizó un balance individual por cada etapa del proceso, como se puede ver en los resultados. Para los balances de masa fue necesario el pesado preciso de todas las materias primas y de los productos y subproductos obtenidos como el suero y ácido cítrico. Todos fueron pesados al finalizar las pruebas para comprobar de cuánto fueron las pérdidas de cada etapa en el proceso.

Las materias primas usadas para la elaboración de las pruebas piloto son materias primas que la empresa manufacturera comercializa. Los estabilizantes son producidos internamente, la crema es comercializada y será usada para la producción, al igual que la sal. Por lo tanto, la disponibilidad de materia prima no será un factor importante limitante para la producción del queso. En cuanto a términos de personal, la empresa cuenta con tres operarios de producción, encargados del pesaje de materia prima, elaboración del producto y posterior limpieza y mantenimiento. Con el personal ya existente sí es factible incluir la línea de producción, ya que tomando como base que por cada lote de 100 L se obtienen alrededor de 9.09 kg (20 libras) de queso, y cada lote tiene una duración aproximada de hora y media se puede reorganizar al personal para que las horas/hombre que requiere la producción del queso se pueda distribuir durante un día laboral sin necesidad de recurrir a horas extra o a postergar otras labores de producción.

En cuanto a equipo, la empresa cuenta con equipo para una producción de mayor tamaño. Para la recepción y almacenamiento de la leche se cuenta con un milk keeper de capacidad de 1800 L. Con esto se tiene la capacidad de producir 18 lotes de 45.45 kg (100 lb) cada uno, o lotes de 200 L para 9 lotes en total. Para el calentamiento, se usó el calentador de gas y una olla, pero la empresa también cuenta con marmitas que permiten el calentamiento de 125 L y hasta 500 L de leche. Estas marmitas usan resistencias para calentar una chaqueta que contiene agua. Estos equipos brindan la capacidad suficiente para poder calentar la leche a la temperatura necesaria. Uno de los factores técnicos que limitan la producción es la ausencia de tinajas para cuajado. Sin esto se tiene que recurrir a recipientes plásticos de 225 L. Por esto el lote de mayor tamaño podría ser de 200 L, sin embargo, con una tinaja el tamaño de los lotes puede llegar a ser mucho mayor, aumentando la eficiencia de producción. Por último, el perol es el factor de mayor limitación para la producción de queso ya que tiene una capacidad de albergar y manejar alrededor de 13.64 kg (30 lb) de cuajada, permitiendo como máximo lotes de 130-150 L de leche, basándonos en el rendimiento de las pruebas a pequeña escala. Esto es gracias a que en la actualidad no se tenía la producción de un queso de pasta hilada, y sólo se tenía por necesidad de hacer pruebas de nuevos productos dirigidos a los productores de queso.

Durante las pruebas a nivel piloto se obtuvieron rendimientos de 0.13 kg queso/kg leche en ambas. Se obtuvo un leve incremento con respecto a los rendimientos de las pruebas realizadas a pequeña escala (0.12 kg queso/kg leche). Para la producción de este queso se utilizaron alrededor de 24 L de solución de ácido cítrico para la coagulación de la leche, y de igual manera se le permitió a la cuajada madurarse durante 15 minutos. Tiempo que se aprovechaba para la preparación del fogón, crema y estabilizantes que se usan posteriormente. La acidez de ambas

corridas estuvo entre 28°D y 29 °D, indicando una acidez correcta para la fusión del queso.

El proceso de filtrado de la cuajada es el más tardado, ya que la manta filtrante tiende a saturarse, provocando que sea lenta la separación de la cuajada y del suero. Al haber desuerado se pudo observar que se obtuvieron alrededor de 90 kg de suero de leche, que fue pesado y luego desechado. Al colocar la cuajada al fogón se le agregó la crema, sal y estabilizantes. El queso tomó alrededor de 15 – 20 minutos en completarse y alcanzar la temperatura objetivo de 70 °C. Al alcanzar esta temperatura se apagó la llama y se enfrió el queso, sin detener la manipulación y el hilado del queso para facilitar la disminución de temperatura.

Con la línea de producción ya creada y las pruebas piloto ya ejecutadas se realizó un análisis de qué factores se verían beneficiados de una automatización, a modo de prever el crecimiento en los volúmenes de producción. Para este análisis los factores de mayor relevancia son la temperatura y la acidez o pH. Por lo tanto es imperativa la colocación de transmisores y controladores que permitan tomarlos en cuenta para la producción del queso. Debido a que la empresa sólo cuenta con recipientes plásticos para el cuajado de la leche, se realizará la automatización como si tuviera una tina de cuajado, que sería lo más adecuado para asegurar la homogeneidad del producto y la calidad.

Como se puede ver en el esquema P&ID en los resultados (Imagen 2), transmisores de temperatura son colocados en el milk keeper, marmita, tinas de mezclado o cuajado y fogón. Para el control de la acidez se deben colocar pH-ímetros en el milk keeper, marmitas y tinas de cuajado. Con esta información se pueden crear lazos de control que permitan la adición de ácido cítrico, agitación o incluso descarga de suero. Se incluyen medidores de nivel en la marmita y tinas de agitación, a modo de poder determinar el tamaño de los lotes adecuado y con esto poder cerrar o abrir las válvulas de paso. Se incluyó la presencia de un timer en la tina de agitación para medir el tiempo suficiente para obtener la cuajada y su maduración, y luego descargar el suero de la tina.

Al completar las pruebas piloto se hizo el diseño de la automatización para la línea de producción y se puede reseñar ciertos aspectos que la empresa manufacturera debería de mejorar si se planea aumentar los volúmenes de producción. Para tener un crecimiento sostenible y un escalamiento adecuado se deberá de comprar u obtener otro equipo para el hilado del queso, al ser este el factor de mayor limitante para la producción. Para esto se puede comprar un fogón de mayor tamaño con un perol de alrededor de 22.73 kg (50 lb) de queso, que es el máximo tamaño que se puede procesar en este tipo de equipos, al ser todo el movimiento, manipulación e hilado de forma manual. Para evitar variaciones en el producto se recomienda la adquisición de una malaxadora, que funciona con vapor

de caldera para calentar el queso y tiene un mecanismo mecánico al que se une un motor. Esto permite un producto de mayor homogeneidad y de calidad constante.

IX. Conclusiones

- Se produjo un queso de pasta hilada usando grasa vegetal y acidificación química de acuerdo con los requerimientos de porcentaje de grasa (13.5% m/m) impuesto por la empresa y usando materias primas que la empresa utiliza o comercializa a día de hoy (leche, cloruro de calcio, ácido cítrico).
- Se formularon tres quesos distintos de pasta hilada con grasa vegetal. A los tres quesos se les varió la cantidad de grasa y estabilizadores en la formulación. De las tres formulaciones (F1: 13.5% m/m grasa y 0.3% m/m estabilizador, F2: 18.0% m/m grasa y 0.3% m/m estabilizador y F3: 13.5% m/m grasa y 0.8% m/m de estabilizador), la formulación 1 (13.5% m/m grasa y 0.3% m/m estabilizador) fue la de mayor aceptación (58% al ser comparada con F2 y 68% al ser comparada con F3) y ésta es la que se utilizó para las pruebas piloto.
- El factor limitante en la línea de producción para la empresa manufacturera es la marmita para el hilado, ya que sólo permite la preparación de aproximadamente 11.36 kg de queso por lote. Esto implica que a menos que la empresa decida invertir en una malaxadora con mayor capacidad, los lotes serán de un tamaño muy reducido para producir con mayores volúmenes de leche (mayores a 500 L por lote).
- La empresa cuenta con el equipo necesario para la fabricación del queso de pasta hilada. Adicionalmente cuenta con la disponibilidad de materia prima, espacio, personal, tiempo y equipo necesario.
- Se obtuvo un rendimiento promedio de aproximadamente 0.12 kg queso/ kg leche y una desviación estándar de 0.015 en las pruebas a pequeña escala. El rendimiento promedio de las pruebas piloto fue de 0.13 kg queso/kg leche. El rendimiento fue bajo al compararlo con el teórico de 0.20 kg queso/kg leche, lo cual se debe a que no se caracterizaron los extractos secos del suero ni de la cuajada y a un nivel bajo de caseína en la leche.
- Es viable la incorporación de estabilizantes en el queso junto con la grasa vegetal a un nivel de 0.3% m/m, sin embargo, con un porcentaje mayor se corre el riesgo de que la palatabilidad y el sabor tenga notas sintéticas y apariencia menos apetecible que con una menor cantidad de estabilizantes.
- Las evaluaciones sensoriales de aceptación mostraron que el queso de pasta hilada producido tuvo un porcentaje de aceptación de 37% comparado con el queso de origen comercial. Los principales atributos a mejorar son sabor, textura y salado. Esto brinda un punto de mejora para el queso que se produzca a nivel industrial, modificando el porcentaje de estabilizadores, posibilidad de incluir un pequeño porcentaje de grasa butírica para el sabor y modificar la cantidad de sal en el producto.

X.Recomendaciones

- Invertir en mejorar el equipo que tienen, ya que en la actualidad es posible realizar el proceso, sin embargo éste se ve limitado por un lote máximo de producción de 125 L. El equipo a mejorar es la marmita para el hilado y la tina de cuajado.
- Modificar la formulación variando el porcentaje de grasa para obtener un queso con 15% m/m de grasa butírica ya que la formulación determinada con 18% m/m fue definida como muy grasosa por los participantes en la evaluación sensorial.
- Realizar la caracterización del producto final, para conocer el porcentaje de humedad que contiene y también el del suero que se obtiene de la cuajada, para poder definir mejor el contenido del queso.
- Agregar grasa vegetal a la leche previa al proceso de coagulación para medir cambios de rendimiento, textura y sabor.
- Implementación de un sistema de automatización para evitar problemas o variaciones que conlleva el factor humano dentro de la producción de queso.
- Incluir cultivos lácticos para la disminución de pH, mejorar el sabor y la textura del producto. Esto se busca para poder usar menor cantidad de ácido cítrico y tener un queso de mayor calidad.

XI. Referencias bibliográficas

- A. Banco De Guatemala. (5 de octubre de 2014). Obtenido de *VALOR (CIF) DE LAS IMPORTACIONES Y VALOR (FOB) DE LAS EXPORTACIONES POR PRODUCTO DE LA INDUSTRIA AGROPECUARIA, EXTRACTIVA Y MANUFACTURERA*: <https://banguat.gob.gt/es/page/volumen-de-las-exportaciones-fob-de-productos-agricolas-seleccionados-1994-2022>
- B. Fox, P; McSweeney, P. 1998. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Blackie Academic & Professional. Irlanda. 477 págs.
- C. Instituto Nacional de Estadística. (5 de octubre de 2014). Estadísticas agropecuarias 2013. Guatemala. Obtenido de: <https://www.ine.gob.gt/estadisticas-agropecuarias/>
- D. Instituto Nacional de Estadística. 2014. “Hoja De Balance De Alimentos”. Guatemala. 33 págs.
- E. Law, B; Tamime, A. 2010. *Technology of cheesemaking*. 2a ed. Wiley – Blackwell. Reino Unido. 484 págs.
- F. Martínez, G. 2010. “Preelaboración y Conservación de Alimentos”. Ediciones Akal. Madrid. 16 págs.
- G. McSweeney, P; Fox, P. 2013. *Advanced Dairy Chemistry*. Springer. Nueva York. 489 págs.
- H. Momani, Jana; Natsheh, A. 2012. *Raw Milk. Production, consumption and health effects*. Nova Science Publishers. Nueva York. 213 págs.
- I. Mona, A; Nawal, A. 2012. “Effect of homogenization on the properties and microstructure of mozzarella cheese from buffalo milk.” *Acta Scientiarum Polonarium*. Polonia. Págs. 121-135.
- J. Montero, W. 1983. *Elaboración de Queso Mozzarella*. Segundo Seminario Marschall Centroamericano de Quesos. Miles, S.A. Costa Rica. 1983. 35 págs.
- K. O’Brien, R. 2009. *Fats and oils. Formulating and processing for applications*. Taylor and Francis Group. Florida. 680 págs.
- L. Prochile. 2009. Recuperado el 5 de octubre de 2014. Estudio de Mercado Queso – Guatemala. Obtenido en: Chilealimentos.com.
- M. Romero, R; Mesters, J. 2004. “Productos Lácteos. Tecnología”. Ediciones UPC. Cataluña. 225 págs.
- N. Saarela, M. 2007. *Functional Dairy products*. Woodhead Publishing Limited. Cambridge. 559 págs.
- O. Scott, R. 1998. *Cheesemaking Practice*. Plenum Publishers. New York. 449 págs.
- P. Shortt, C; O’Brien, J. 2004. *Handbook of functional dairy products*. CRC Press. Nueva York. 602 págs.
- Q. Sun, D. 2005. *Emerging technologies for food processing*. Elsevier Ltd. California. 629 págs.

R. Tamime, Adnan. 2007. *Structure of dairy products*. Blackwell Publishing. Oxford. 287 págs.

XII. Anexos

Anexo A: Fase experimental

Formulación de queso para pruebas a pequeña escala:

Debido a que se busca la obtención de un queso de pasta hilada a base de grasa vegetal que pueda competir con productos similares en su tipo como lo son el queso mozzarella, cheddar, para pizza o quesillo se busca balancear el porcentaje de grasa del producto al de estos quesos. Según lo indicado por Montero, 1983 los quesos de pasta hilada tipo mozzarella y similares tiene un porcentaje de grasa en un rango de 8% y 18% según las cualidades de suavidad y sabor que busque el productor. Por lo tanto, las pruebas a pequeña escala se realizarán de la siguiente manera.

Tabla 19: Porcentaje de grasa en formulaciones de quesos de pasta hilada a pequeña escala

Queso	Porcentaje de grasa [%]
1	13.5
2	18.0
3	13.5

Con los porcentajes ya establecidos, se debe conocer la cantidad de crema a base de grasa vegetal que tendrá que ser añadida para alcanzar los porcentajes de grasa deseados.

Se asume que a partir de 10 L de leche se obtendrá una cuajada de aproximadamente 1.2 kg. La leche descremada tiene un porcentaje en grasa de 0.5%. Según Alais, 1985, la leche descremada tiene una densidad promedio de 1.035 g/mL.

Por lo tanto, se tiene

$$10 \text{ L leche} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} * \frac{1.035 \text{ g}}{1 \text{ mL leche}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 10.35 \text{ kg leche} * 0.5\% \text{ grasa} \\ = 0.052 \text{ kg grasa}$$

Para obtener el porcentaje de grasa aportado por la leche se procede como sigue:

$$0.052 \text{ kg grasa} / 1.2 \text{ kg cuajada} * 100 = 4.33 \% \text{ grasa}$$

El queso, en caso de que atrape el 100% de la grasa en la micela de la proteína, tendría un porcentaje de grasa de 4.3%. Ya que se requiere un porcentaje de grasa de 13.5% es necesaria la adición de crema comercial re constituida con grasa

vegetal. El porcentaje de grasa en la crema es de 40%, por lo tanto, se procede a calcular la cantidad de crema a añadir:

$$x = \text{grasa}, y = \text{queso}, z = \text{crema}$$

$$\frac{x}{y} = 0.135, y = \text{cuajada} + \text{crema} = 1.2\text{kg} + z, x = 0.4z + 0.052\text{kg grasa}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\text{kg}(\text{grasa})}{\text{kg}(\text{cuajada})} = 0.135 = \frac{x}{y} \\ \text{kg}(\text{cuajada}) + \text{kg}(\text{crema}) = 1.2 + z = y \\ \text{kg}(\text{grasa}) = 0.4 * \text{kg}(\text{crema}) + 0.052 = x = 0.4x + 0.052 \end{array} \right. ,$$

$$x = 0.135y$$

$$0.135(1.2 + z) = 0.4z + 0.052$$

$$0.162 + 0.135z = 0.4z + 0.052$$

$$0.11 + 0.135z = 0.4z$$

$$0.11 = 0.265z$$

$$z = 0.415 \text{ kg crema}$$

Ya que la grasa presente en la leche descremada puede ser menor, y ésta puede que no quede atrapada en su totalidad dentro de la cuajada se aproximará a 0.475 kg crema para alcanzar 13.5% de grasa en el queso.

De la misma manera se realizó el cálculo para la cantidad de grasa a utilizar en la formulación que contiene 18% de grasa.

Como se puede ver el porcentaje en grasa entre el queso 1 y el 3 es el mismo, lo cual se debe a que en la tercera formulación se busca la inclusión de estabilizantes como sustituto de grasa. Como lo indica Tamime, 2007, compuestos como gomas y almidones pueden ser utilizados como sustitutos de grasa en la producción de quesos, lo que implica beneficios económicos debido a una disminución en los costos del producto. Los porcentajes de estabilizantes utilizados para la formulación son los siguientes.

Tabla 20: Porcentaje de estabilizantes en formulaciones de quesos de pasta hilada a pequeña escala

Queso	Porcentaje de estabilizantes [%]
1	0.3
2	0.8
3	0.3

Para la coagulación de la leche y la obtención de la cuajada se procede a una acidificación química de la leche por medio de una solución de ácido cítrico, según lo recomendado por Law, 2010. Dicha solución es preparada internamente en la empresa manufacturera. La concentración la solución de ácido cítrico es del 10%.

Debido a que la coagulación se obtendrá por medio de una acidificación directa es necesario conocer la acidez inicial de la leche para realizar las pruebas. La acidez obtenida es una acidez titulable y se presenta en grados Dornic (°D).

Con la solución de ácido cítrico se busca la obtención de una cuajada a un pH entre 5.2 y 5.4 de esta forma se obtiene un queso que sea capaz de hilar adecuadamente. Además, según Montero, 1984 el queso hila a partir de una acidez de 44 °D que equivale a un pH de 5.

Anexo B: Ejecución de pruebas a pequeña escala

Con la formulación obtenida se prosiguió a la elaboración de las pruebas a pequeña escala. Para la realización de estas pruebas se tomó como volumen inicial 10 L de leche descremada con un porcentaje de grasa del 0.5%.

Para el cálculo de los grados Dornic se siguen los siguientes pasos:

- Tomar una muestra de 9 mL de leche
- Colocar la muestra en Erlenmeyer
- Agregar 3 gotas de solución indicadora de fenolftaleína
- Titular con Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.1 N estandarizado
- Medir los mL de NaOH utilizados y realizar la titulación en la cual la leche vira y se torne de color rosado suave

$$^{\circ}D = V_{mL NaOH} * 10$$

Por ejemplo, para la medición de acidez inicial en la primera formulación se utilizaron 1.2 mL de NaOH 0.1 N, entonces:

$$^{\circ}D = 1.2_{mL NaOH} * 10 = 12 ^{\circ}D$$

De la misma manera se calcularon los grados Dornic, siempre que fuese necesaria la medición de la acidez para la preparación del queso de pasta hilada en todas las formulaciones.

Tabla 21: Acidez inicial titulable de la leche descremada para las pruebas a pequeña escala

Queso	Volumen NaOH 0.1 N utilizado [mL]	Acidez inicial [° D]
1	1.2	12
2	1.2	12
3	1.3	13

Posterior a la adición de la solución de ácido cítrico se obtuvo una cuajada que se dejó reposar durante 15 minutos con el objetivo de madurarla y permitir que ésta alcance la acidez necesaria. La acidez titulable del suero recién cortado por cada prueba es presentada a continuación.

Tabla 22: Acidez titulable del suero recién cortado para pruebas a pequeña escala

Queso	Acidez suero recién cortado [° D]
1	30
2	29
3	30

Luego de filtrar y obtener la cuajada se procede a la adición de la grasa vegetal para balancear el porcentaje de grasa de cada prueba. Para realizar esto se usó un producto de la empresa manufacturera y es una crema análoga con un porcentaje de grasa de 40%. En cuanto al queso 2, se agregó grasa vegetal para alcanzar el porcentaje de grasa deseado

Tabla 23: Volumen de crema análoga y de grasa vegetal utilizada por cada prueba de queso de pasta hilada a pequeña escala.

Queso	Volumen de crema análoga [L]	Grasa vegetal [g]
1	0.60	0
2	0.60	60
3	0.60	0

La cuajada en conjunto con la crema, grasa (queso 2), estabilizantes y sal (2%) se llevó a 70 grados Celsius para realizar el proceso de hilado, aplicando un trabajo mecánico estirando e hilando la cuajada a medida que ésta se funde.

La cantidad de queso obtenido en las tres pruebas de formulación a pequeña escala es la siguiente:

Tabla 24: Cantidad de queso obtenido en las tres pruebas de formulación a pequeña escala

Queso	Masa de queso final [kg queso]
1	1.18
2	1.24
3	1.47

Sabiendo que la densidad de la leche es de 1.035g/ml se calcula el rendimiento de la producción, presentado como (kg de queso / kg de leche)

$$10 \text{ litros leche} = \frac{1.035 \text{ g}}{\text{ml}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} = 10.35 \text{ kg leche}$$

$$\text{Rendimiento queso 1} = \frac{1.18 \text{ kg queso}}{10.35 \text{ kg leche}} = 0.11$$

De igual manera se obtuvo los rendimientos para los quesos 2 y 3.

Tabla 25: Rendimiento de queso para cada prueba a pequeña escala

Queso	Rendimiento [kg queso/kg leche]
1	0.11
2	0.12
3	0.14

Anexo C: Realización de evaluaciones de aceptación

Luego de obtener los quesos a pequeña escala se determinó la formulación preferida y se realizó la comparación de la misma con otros productos similares ya presentes en el mercado. Para poder determinar esto se llevaron a cabo evaluaciones de aceptación.

La evaluación de aceptación de preferencia entre los tres quesos fabricados a pequeña escala fue pareada en la cual se comparaban dos quesos y el evaluador escogía su preferido y explicaba la razón por la cual le gustaba más dicho queso. Cada evaluador realizó tres pruebas, en las cuales las tres formulaciones eran comparadas entre sí.

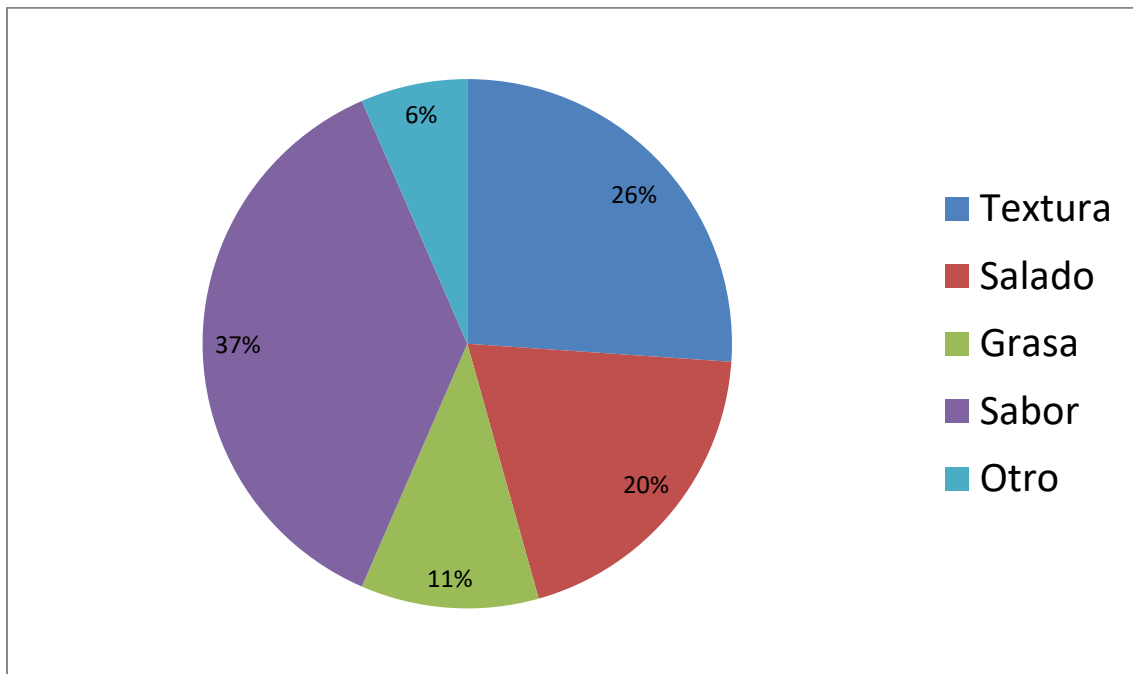
En el segundo día se realizó una prueba comparativa entre el queso preferido y un queso de pasta hilada que se encuentre en las tiendas de supermercado.

Para esto se le asignó a cada queso un número de tres dígitos aleatorio con el cual sería identificado por los evaluadores.

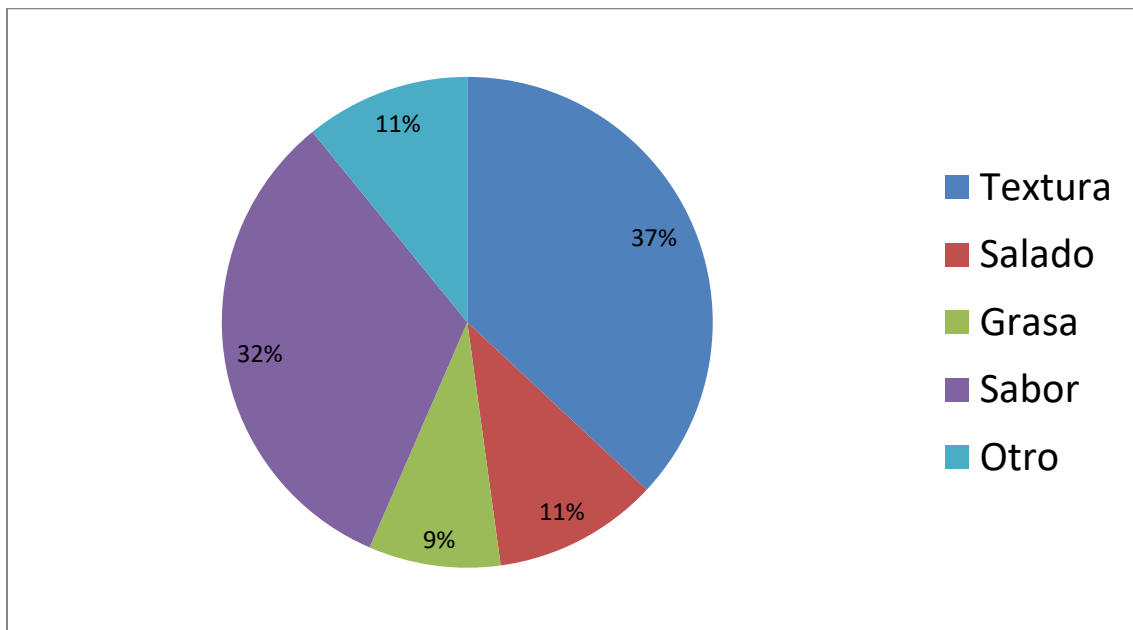
Tabla 26: Números asignados a cada queso para prueba de evaluación de aceptación

Queso	Número
1	248
2	142
3	255

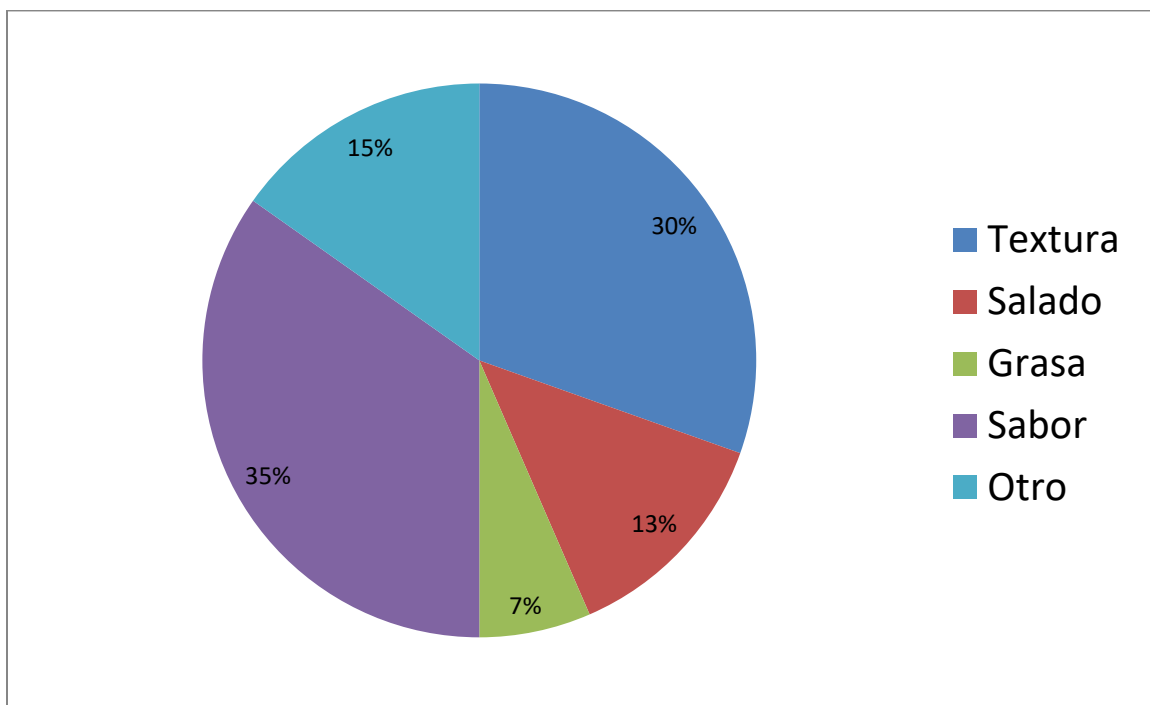
Gráfica 1: Porcentaje de influencia de cada atributo mencionado para la preferencia del queso número 142 sobre el queso número 255.



Gráfica 2: Porcentaje de influencia de cada atributo mencionado para la preferencia del queso número 248 sobre el queso número 255.



Gráfica 3: Atributos de preferencia entre muestra de queso 1 y 3



Luego del análisis de resultados de la evaluación de aceptación de preferencia entre las muestras de queso, se definió que la muestra preferida es la correspondiente a la muestra identificada con número 248 que representa el queso 1. Como puede observarse los factores más tomados en cuenta por los consumidores son textura, sabor y cantidad de sal en el queso de pasta hilada. Además, la razón por la cual los consumidores prefirieron la formulación del queso 1 sobre las otras dos fue en un 35 y 37% debido al sabor, en un 30 y 26% debido a la textura.

Es importante mencionar que en un grupo de 100 consumidores de queso de pasta hilada aproximadamente el 30% de los consumidores le dan importancia al sabor y a la textura del queso para su gusto favorable.

Con estos resultados se procedió a comparar la muestra del queso 1 con un queso que se encuentra actualmente en el supermercado y posee características similares.

Durante esta prueba, con el fin de realizar una comparación más específica, se solicita al evaluador de elegir cuál de las muestras cumple de mejor manera a las características mencionadas, y al igual que en la prueba anterior se cuestiona la preferencia del evaluador y las razones de su elección.

Imagen 6: Hoja de evaluación de aceptación entre formulación de muestra de queso 1 y muestra de queso adquirido en un supermercado

Nombre: _____

Fecha: _____

Pruebe las dos muestras de queso fundido que tiene enfrente, empezando con la muestra de la izquierda. Coloque el número de la muestra que cumpla con las características descritas a continuación.

Más salada: _____

Mayor estiramiento: _____

Más chiclosa: _____

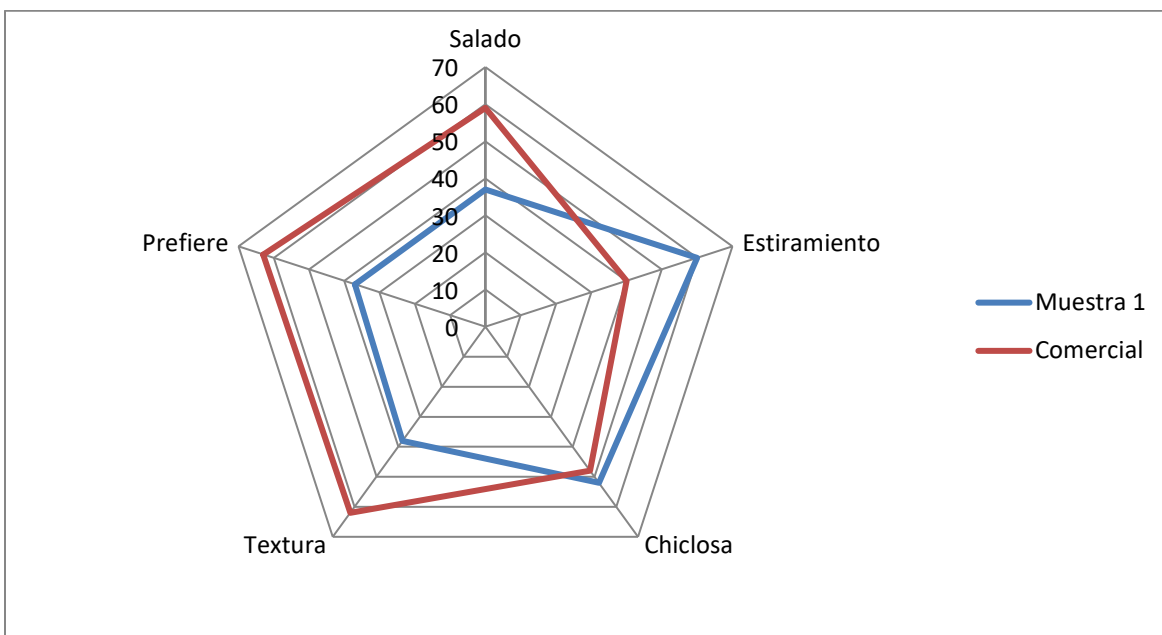
Mejor textura: _____

Cual prefiere: _____

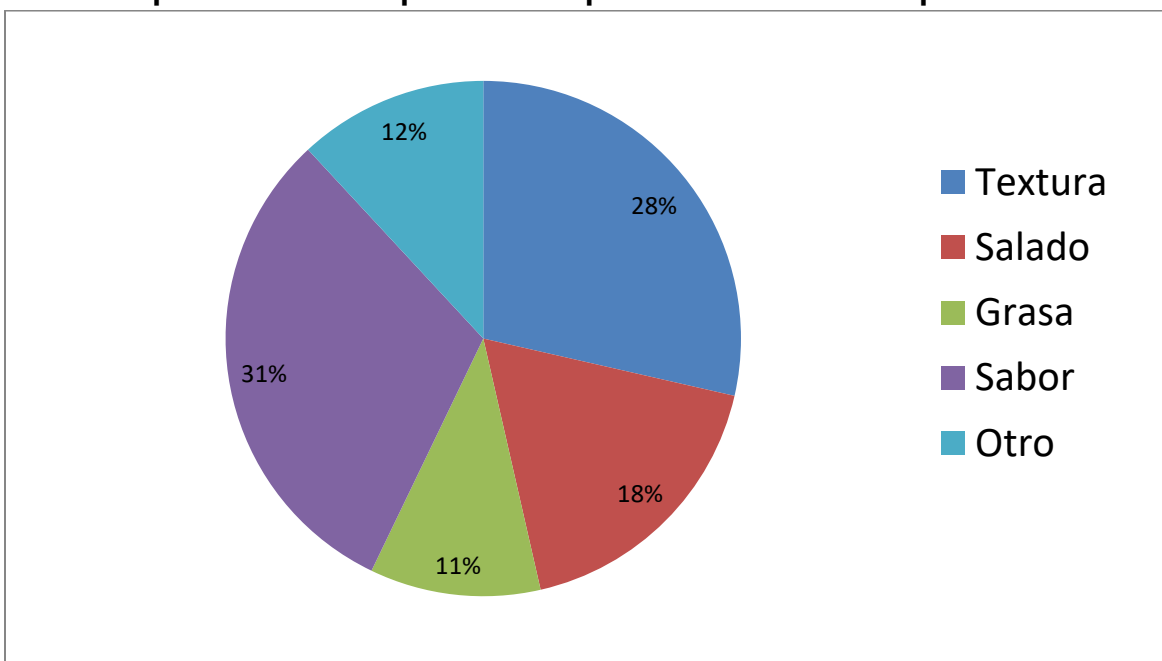
¿Por qué?

En cada espacio al lado del atributo, el evaluador coloca el número de la muestra del queso que le parece más apropiado.

Gráfica 4: Atributos comparativos entre muestra de queso 1 y queso adquirido en el supermercado



Gráfica 5: Porcentaje de influencia de cada atributo mencionado para la preferencia del queso del supermercado sobre el queso 1



De las evaluaciones de aceptación comparativas se pudo obtener un panorama de la situación actual del queso de pasta hilada desarrollado por la empresa manufacturera comparado con un producto ya establecido en el mercado guatemalteco.

El consumidor en este caso prefiere en queso del supermercado que contiene más sal y mejor textura. Sin embargo, el queso 1 posee más estiramiento lo que podría estar asociado a una sensación más chiclosa al masticarlo. Finalmente, al igual que en la prueba anterior los atributos de mayor importancia por el consumidor, razones por las cuales prefiere el producto del supermercado son el sabor en un 31% y la textura en un 28%.

El consumidor prefiere el queso comercial, sin embargo, la muestra de queso 1 tuvo un resultado aceptable al tener un 63% de preferencia en comparación con el comercial. Los atributos más resaltados por los consumidores son textura, cantidad de sal y sabor. Como es posible visualizar en la gráfica radial la percepción de las características organolépticas del queso comercial son más balanceadas que el queso de pasta hilada producido durante las pruebas a pequeña escala.

Anexo D: Diseño y ejecución de pruebas piloto

Luego de las evaluaciones de aceptación, se procedió al diseño de la prueba piloto a nivel industrial dentro de la empresa manufacturera. La empresa ya cuenta con un área específica designada para la producción de lácteos al igual que con el personal que se requiere para la elaboración del queso. El equipo usado para la prueba piloto ya se encuentra dentro de la empresa y es una prueba que le permite al a empresa iniciar con una producción adecuada para la etapa de impulso del producto, sin embargo, dentro de la empresa también existe equipo que permite el potencial crecimiento en la producción. Las materias primas utilizadas para la elaboración el queso las provee la empresa y son las siguientes:

Tabla 28: Materia prima necesaria para la producción del queso de pasta hilada a escala de prueba piloto

Materia prima	Cantidad
Leche fluida	100 L
Cloruro de calcio	0.025 kg
Solución ácido cítrico	24 L
Crema comercial	4.75 L
Estabilizantes	0.04 kg
Solución de NaOH 0.1 N	dependiente de pH
Indicador fenolftaleína	Indefinido
Sal	0.23

Por otro lado, los días de realización de las pruebas piloto se requirió el agitador, una olla de gas, recipiente plástico, una tela para filtrar, el fogón que consume gas propano, una paleta y una canasta.

Se llevarán a cabo dos pruebas pilotos para analizar la repetitividad del proceso dependiente en su mayoría de las características cambiantes de la leche descremada proporcionada por el proveedor. La primera etapa es la recepción de la leche, para lo cual se usará el recipiente plástico, debido al volumen de leche para las pruebas pilotos. Se inicia con la medición de la acidez inicial de la leche recibida. Para la obtención de la acidez titulable al igual que en las pruebas a pequeña escala se utiliza una solución de hidróxido de sodio 0.1N y solución indicadora de fenolftaleína.

Tabla 29: Acidez titulable de la leche fluida utilizada en cada prueba piloto

Prueba piloto	Acidez [°D]
1	17
2	18

Como es posible ver la acidez titulable de ambas porciones de leche fluida son similares, por lo tanto, el volumen de solución de ácido cítrico para la coagulación de la leche será similares. Posterior a esto la leche debe de calentarse a 35 grados Celsius, lo cual se realizó en una olla de gas que la empresa manufacturera posee. Para el cálculo de la energía de calentamiento de la leche se pesó el tambo de gas al inicio y al final.

Tabla 30: Libras de gas propano utilizadas para elevar la temperatura de la leche

Prueba piloto	T inicial [°C]	T final [°C]	Gas propano [lb]
1	18	35	0.35
2	20	35	0.35

Al alcanzar la temperatura deseada en la leche se le adiciona el cloruro de calcio, se agita durante 4 minutos y luego se procede a la adición de la solución de ácido cítrico a la leche.

Tabla 31: Masa de solución de ácido cítrico 10% usado en cada prueba piloto

Prueba piloto	Masa ácido cítrico [kg]
1	24
2	24

Al instante en que se empieza a agregar la solución del ácido, la leche empieza el proceso de coagulación por lo tanto es importante mantener una agitación constante pero suave. Al haber pasado los 15 minutos de haberse completado la coagulación se mide la acidez titulable del suero liberado

Tabla 32: Acidez titulable del suero recién cortado en pruebas piloto

Prueba piloto	Acidez [°Dornic]
1	28
2	29

Al haber transcurrido los 15 minutos, la cuajada debe filtrarse para separarla del suero. Para esto se utiliza una manta que dejará pasar el suero que se desechará al no tener un uso dentro de la empresa manufacturera. La cuajada recolectada en la manta se exprimió y se pesó en una balanza a modo de observar el rendimiento del proceso. La cuajada resultante se colocó en el perol para iniciar el proceso de hilado. Al iniciar el calentamiento, se añade la sal y la crema para nivelar el porcentaje de grasa en el queso. El queso debe aumentar su temperatura hasta alcanzar los 65 °C – 70 °C. A medida que la temperatura aumenta y el hilado es más sencillo, los grumos o porciones de cuajada más grandes empiezan a fundirse y el queso obtiene su textura suave y lisa.

Tabla 33: Masa de cuajada obtenida, masa de sal y crema utilizada y masa de queso de pasta hilada obtenido

Prueba piloto	Masa cuajada [kg]	Masa sal [kg]	Masa crema [kg]	Masa queso pasta hilada final [kg]
1	10.8	0.235	4.75	13.80
2	10.6	0.230	4.75	13.19

El queso obtenido debe enfriarse, por lo que se colocó en la mesa de trabajo del área de producción donde se continuó el proceso de hilado sin ningún calentamiento para que el queso se enfríe lentamente. En el momento en el que el queso alcanza los 25 °C se empaca en bolsa plástica y se almacena en el cuarto frío para su posterior distribución.

Para los cálculos del balance de energía fue necesario conocer la cantidad de gas propano usada para el calentamiento de la leche descremada y para fundir el queso en el perol. Para obtener esto el cilindro de gas usado fue pesado antes y después del calentamiento y el proceso de hilado del queso. Para conocer cuanta energía implicaron estos procesos se realizó lo siguiente:

Para el cálculo de la energía consumida para elevar la temperatura de la leche descremada:

$$\text{Lower heat value del propano} = 46.40 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{Gas usado} = 0.35 \text{ lb}$$

$$0.35 \text{ lb gas} * \frac{1 \text{ kg}}{2.2 \text{ lb}} * \frac{46.40 \text{ MJ}}{\text{kg}} * \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ MJ}} = 7381.82 \text{ J para calentamiento}$$

De la misma manera se obtuvieron los resultados de la energía usada para fundir e hilar el queso en el perol.

Al haber completado esta parte se pueden obtener los balances de masa y energía para cada parte del proceso de fabricación. Estos se presentan a continuación:

Diagrama 6: Balance de masa y energía en tanque de cuajada y agitación

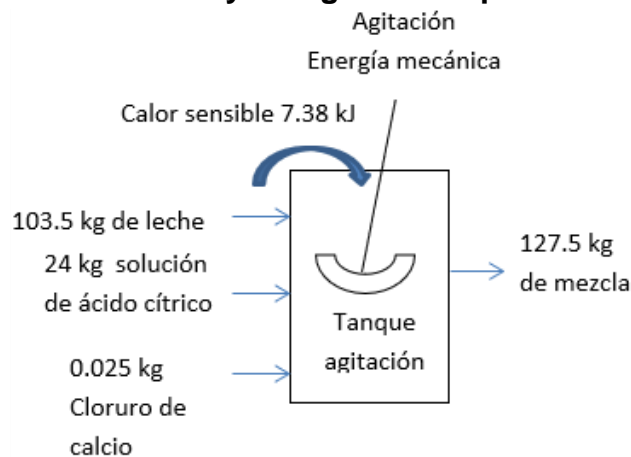


Diagrama 7: Balance de masa y energía en filtrado

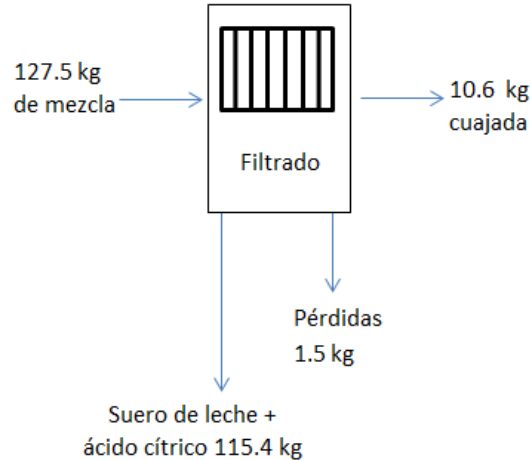
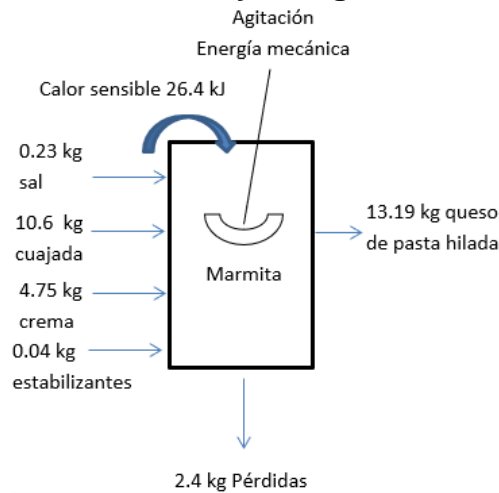


Diagrama 8: Balance de masa y energía en marmita para hilado



Para conocer la eficiencia del proceso se calculó el rendimiento quesero teórico para los lotes de fabricación en la prueba piloto. El cálculo se realizó con la ecuación que se muestra a continuación:

$$\text{Rendimiento} = 100 * \left(\frac{\text{Extracto seco de leche} - \text{Extracto seco del suero}}{\text{Extracto seco de cuajada} - \text{Extracto seco del suero}} \right)$$

Los datos presentados a continuación no se obtuvieron experimentalmente, sino del proveedor o fuentes bibliográficas.

La leche, según datos del proveedor tiene un contenido de extracto secos totales de 120.4 g/kg de leche. Para el contenido de extracto seco total en el suero se procedió a buscar en la bibliografía, y según Hosver el contenido aproximado para la producción de un queso de pasta hilada es de 65 g/kg de leche. En cuanto

extracto seco total de la cuajada, este es de 34.0% m/m según la FAO en la norma para la elaboración de queso mozzarella.

Por lo tanto, para calcular el rendimiento quesero se obtiene:

$$\begin{aligned}\text{Rendimiento} &= 100 * \left(\frac{120.4 \frac{\text{g}}{\text{kg}} - \frac{65.0\text{g}}{\text{kg}}}{340.0 \frac{\text{g}}{\text{kg}} - \frac{65.0\text{g}}{\text{kg}}} \right) \\ &= 20.14 \text{ Kg queso por cada 100 kg de leche} \\ &= 2.01 \text{ Kg de queso por Kg de leche}\end{aligned}$$

Anexo E: Diseño de línea de producción

Para el diseño de la línea de producción a una escala mediana o de gran tamaño dentro de la empresa manufacturera es imperativa la comprensión de los factores críticos que se presentan durante la producción de un queso de pasta hilada a base de grasa vegetal. La línea de producción será del tamaño suficiente para poder elaborar lotes de hasta 125 L de leche que corresponden a aproximadamente 30 libras de queso.

A continuación, se coloca una lista de equipo disponible dentro de la empresa manufacturera para la línea de producción para la fabricación del queso de pasta hilada.

- Milk Keeper 1,800 L
- Descremadora
- Recipiente plástico
- Manta filtrante
- Fogón
- Marmita 125 L
- Marmita 500 L
- Bomba centrífuga
- Agitador

Por lo tanto, es necesario contar con espacio y equipo suficiente, para lo cual el equipo ideal es un milk keeper, un equipo que permite el almacenamiento inocuo de la leche mientras que se prepara el resto de materiales para la preparación del batch. Si la leche que se obtiene es entera, también se cuenta con una descremadora con capacidad de 300 L/hora para estandarizar el porcentaje de grasa en la leche.

Todo esto es equipo disponible para el uso dentro del área de producción. Los equipos se encuentran en buenas condiciones para la elaboración de un producto lácteo inocuo.

Para el proceso de calentamiento de la leche la empresa cuenta con dos marmitas, una de 125 L y otra de 500 L. Estas marmitas cuentan con resistencias para el calentamiento de un enchaquetado, lo cual aumenta la temperatura de la leche. La leche tibia a 35 °C se descarga en una burula de plástico donde se le agrega una parte de la materia prima. En este punto se hace uso del agitador para la incorporación de la materia prima y para el proceso de cuajado. La manta filtrante se usa para la separación de la cuajada del suero. La manta tiene una capacidad de filtrar un lote de 100 L de leche en aproximadamente 15 minutos.

La cuajada filtrada luego es agregada a un fogón que usa gas propano para calentar todas las materias primas y fundirlas para tener una mezcla homogénea. Se usa un agitador para hilar el queso.

Anexo F: Diseño de automatización para línea de producción

Para el diseño de la propuesta de automatización es necesario dibujar el proceso con sus etapas y las etapas en las cuales sería necesario colocar instrumentos de medición o de control para automatizar el proceso.

En este momento se debe de tomar en cuenta los factores críticos que conlleva el proceso de elaboración del queso y se mencionan a continuación:

- Temperatura a la cual se calienta la leche para añadir la solución de ácido cítrico.
- Cantidad de leche utilizada para la manufactura de un lote establecido de queso.
- pH del suero al preparar la cuajada
- Tiempo de agitación en cada etapa

Tabla 34: Variables críticas en proceso de producción de queso de pasta hilada

Variable	Equipo
Temperatura	Marmita, fogón
Nivel	Marmita, tanque de agitación
pH	Tanque recepción, marmita, tanque agitación
Tiempo	Tanque agitación,

Imagen 7: Plano P& ID para la línea de producción de queso de pasta hilada

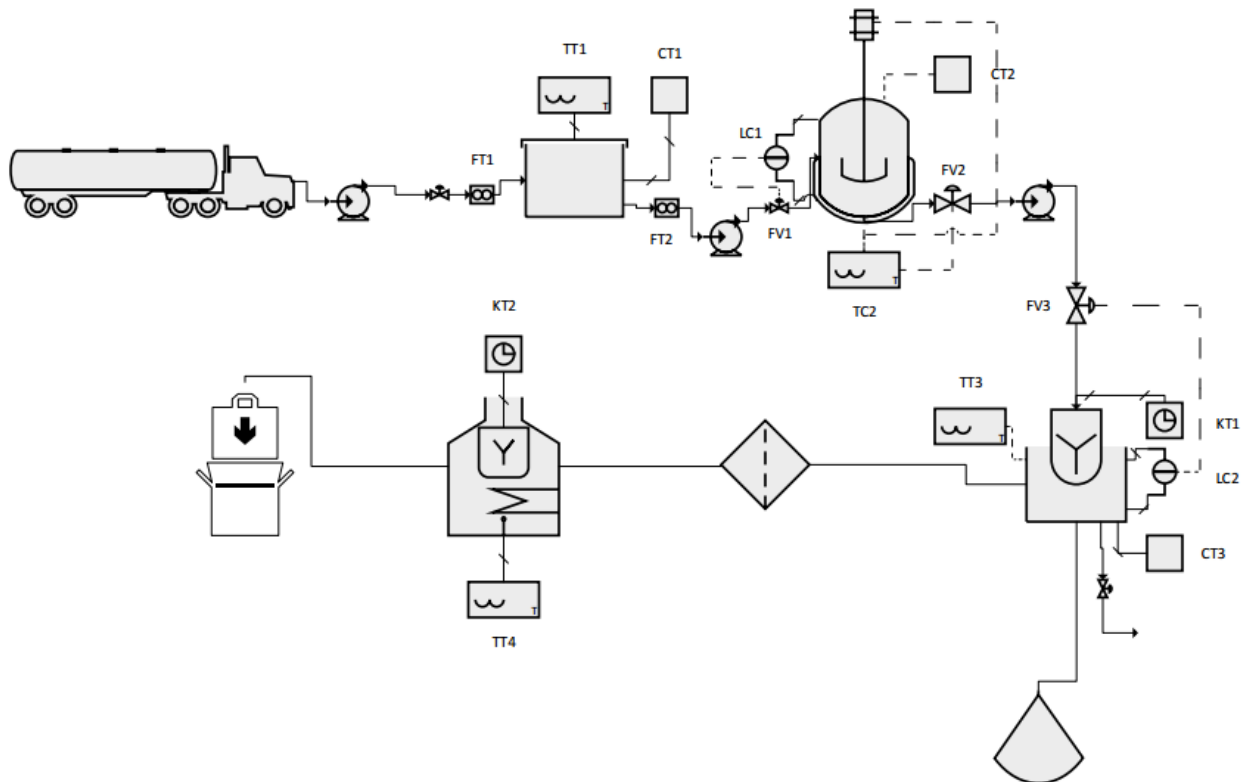


Tabla 35: Guía de instrumentación en plano P& ID

Código	Equipo presente	Variable medición	Tipo
FT1	Tubería a tanque recepción	Flujo	Transmisor
TT1	Tanque recepción	Temperatura	Transmisor
CT1	Tanque recepción	pH	Transmisor
FT2	Tubería a marmita	Flujo	Transmisor
FV1	Tubería a marmita	Válvula	Válvula
LC1	Marmita	Nivel	Controlador
CT2	Marmita	pH	Transmisor
FV2	Tubería a tanque agitación	Válvula	Válvula
TC2	Marmita	Temperatura	Controlador
FV3	Tubería a tanque agitación	Válvula	Válvula
TT3	Tanque agitación	Temperatura	Transmisor
KT1	Tanque agitación	Tiempo	Transmisor
LC2	Tanque agitación	Nivel	Controlador
CT3	Tanque agitación	pH	Transmisor
KT2	Fogón	Tiempo	Transmisor
TT4	Fogón	Temperatura	Transmisor

Luego de haber identificado los factores claves en el proceso, y diseñar el tipo de sensores que requieren cada parte del proceso, es importante crear lazos de control, en el cual una o más variables van a controlar el funcionamiento de la instrumentación y de los equipos de manufactura del proceso.

Para iniciar es importante la medición y control de la temperatura inicial en el tanque de leche, por lo tanto, es importante un medidor de temperatura. En este mismo tanque debe conocerse la acidez o pH inicial, por lo tanto, se le coloca un sensor transmisor para poder obtener esta información. De este tanque, por medio de bombas, se traslada la leche a la marmita.

A modo de evitar un llenado que exceda la capacidad de la marmita se coloca un medidor de nivel. Con este medidor de nivel se crea el primer lazo, en el cual el medidor de nivel es de tipo controlador. Este sensor le indicará a la válvula de paso cuando cerrarse. En este mismo equipo se coloca un sensor para medir temperatura, y acidez.

En el momento en que la leche contenida alcanza la temperatura deseada la válvula de salida debe abrirse y la bomba moverá la leche al tanque de agitación. Este tanque también tiene un lazo de control en el cual un medidor de nivel le indica a la válvula de entrada cuando cerrarse para no superar su capacidad y sí evitar tener pérdidas de leche. En este tanque se tiene un medidor de acidez, el cual indica el punto en el que la leche ha cuajado para dar lugar a la cuajada y el suero. Se mide la temperatura para asegurar la calidad del proceso.

Se coloca un medidor de tiempo en este tanque para darle tiempo a la cuajada para que madure. El suero es descargado por la parte inferior y la cuajada es posteriormente filtrada. Por último, al llevar la cuajada al fogón se cuenta con un medidor de temperatura y un timer para evitar daños a la estructura y calidad del queso.

Anexo G: Fotos

Foto 1: Leche utilizada en prueba a pequeña escala



Foto 2: Acidificación directa de la leche y obtención de cuajada en prueba a pequeña escala



Foto 3: Medición de acidez por medio de titulación en prueba a pequeña escala

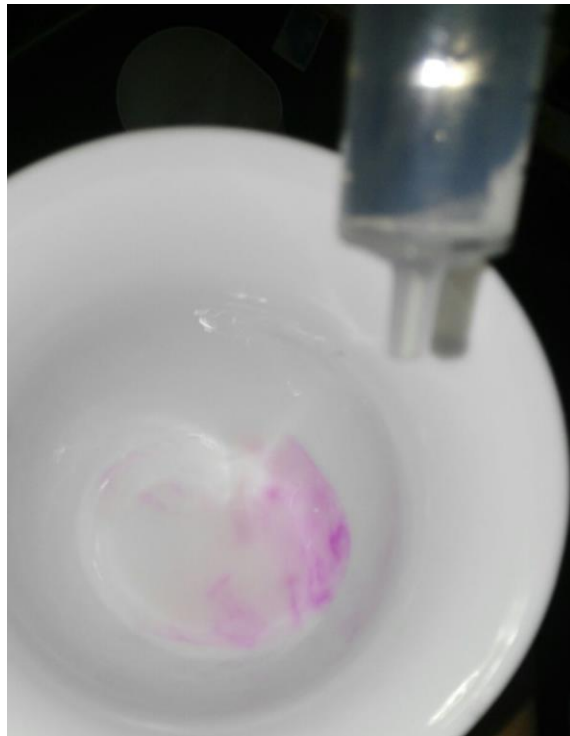


Foto 4: Filtración de cuajada en prueba a pequeña escala



Foto 4: Cuajada obtenido en prueba a pequeña escala

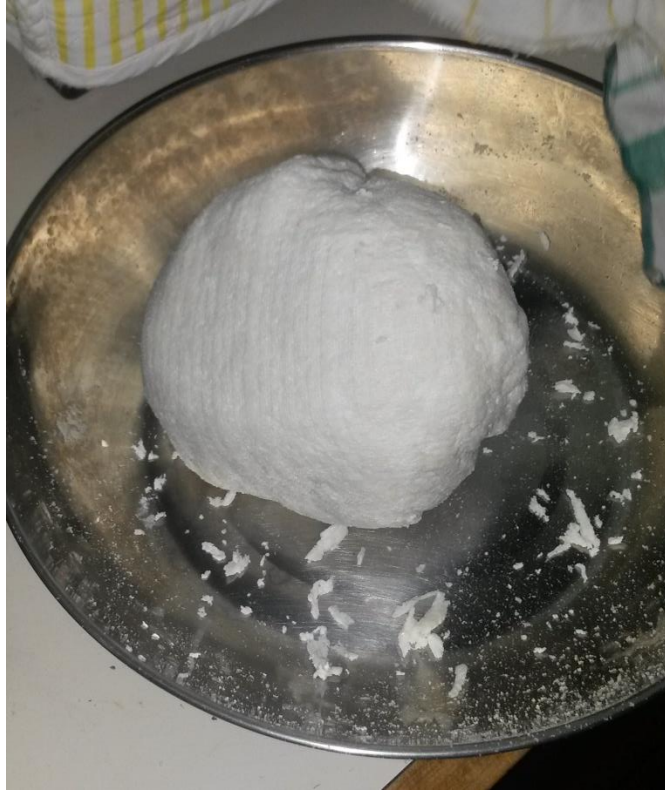


Foto 5: Queso 1 a pequeña escala



Foto 6: Queso 2 a pequeña escala



Foto 7: Queso 3 a pequeña escala



Foto 8: Proceso de hilado a pequeña escala



Foto 9: Muestras para evaluaciones de aceptación



Foto 9: Evidencia de evaluación de aceptación



Foto 10: Leche utilizada para pruebas piloto



Foto 11: Medición de ácido cítrico para pruebas piloto



Foto 12: Medición de acidez por medio de titulación para pruebas piloto



Foto 13: Cuajada de pruebas piloto



Foto 14: Adición de crema a cuajada de pruebas piloto



Foto 15: Proceso de hilado en pruebas piloto



Foto 16: Pesado de tanque de gas



Anexo H: Caracterización de las materias primas

A continuación, se presenta la caracterización de las materias primas utilizadas para la fabricación del queso de pasta hilada tanto en su fase de formulación y pruebas a pequeña escala, como en las pruebas piloto efectuadas. Todos los datos fueron proporcionados por los proveedores de las materias primas.

Tabla 36: Caracterización de la leche descremada

Variable	Porcentaje
Grasa	1.25% max
Proteína	35.0%
Ceniza	8.2%
Lactosa	51.00%
Humedad	80.00%
Presentación	Envase de 25 L

Tabla 37: Caracterización del cloruro de calcio

Variable	Cantidad
Pureza	77.0% min m/m
Peso molecular	111 g/mol
Apariencia	Producto sólido blanco en escamas
Presentación	Sacos de 25 kg

Tabla 38: Caracterización de la solución de ácido cítrico

Variable	Cantidad
Concentración	10.0 % m/m
Presentación	Envases de 3.78 L
Apariencia	Líquido incoloro

XIII. GLOSARIO

Estabilizantes: Mezcla de gomas, almidón modificado y excipientes que mejoran la textura de un producto.

Evaluación de aceptación: Prueba que evalúa el uso real del producto con relación a la compra y el consumo del mismo.

Grasa vegetal: Es una grasa sólida obtenida por la hidrogenación del aceite vegetal. No tiene sabor ni olor y funciona como un sustituto a las grasas de origen animal.

Factibilidad técnica: Es una evaluación realizada para determinar si la compañía cuenta con la capacidad técnica para manejar la consecución de un proyecto.

Lazo de control: Es un sistema que maneja, dirige o regula el comportamiento de otros equipos usando un ciclo de control basado en los componentes físicos que componen un proceso.

Pasta hilada: Es una técnica de manufactura en la producción de quesos donde la cuajada es calentada y atraviesa un proceso de estiramiento y amasado lo que provoca que adquiera una estructura fibrosa.

Perfil radial: Método gráfico en dos dimensiones para mostrar información de tres o más variables cuantitativas representadas sobre un mismo eje. Sirve para la comparación de las mismas variables en dos productos distintos.

Plano P&ID: Las siglas definen al este plano como de tubería e instrumentación (piping and instrumentation), donde se muestra el flujo del proceso con los equipos e instrumentos instalados.

Prueba piloto: Estudio preliminar a una escala reducida a modo de estudiar la factibilidad (tiempo, costo, observaciones) de un proceso propuesto.

Rendimiento quesero: Es la cantidad de queso obtenida a partir de una determinada cantidad de leche. Se define como kg de queso por cada 100 kg de leche.