

PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA  
DE LECHE EN PRODUCTOS NATURALES DE LA SABANA ALQUERÍA S.A  
SEDE ENRIQUE CAVELIER

SUSAN LORENA CORREA NUÑEZ  
FERNANDA CORTÉS ESCOBAR

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D. C.  
2016

PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA  
DE LECHE EN PRODUCTOS NATURALES DE LA SABANA ALQUERÍA S.A  
SEDE ENRIQUE CAVELIER

SUSAN LORENA CORREA NUÑEZ  
FERNANDA CORTÉS ESCOBAR

Trabajo integral de grado para optar título de:  
INGENIERO QUIMICO

Director  
Mayerly Andrea Gómez Bejarano  
Bacterióloga

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D. C.  
2016

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado  
I.Q. Juan Carlos Segura Pinzón

---

Jurado 1  
Dra. Adriana Inés Páez Morales

---

Jurado 2  
I.A. Javier Francisco Rey

Bogotá D.C. Julio de 2016

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dr. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

## CONTENIDO

	pág
INTRODUCCION	15
OBJETIVOS	16
1. GENERALIDADES	17
1.1 LECHE	17
1.1.1 Características	18
1.1.1.1 Heterogeneidad	18
1.1.1.2 Alterabilidad	18
1.1.1.3 Variabilidad en la composición	18
1.1.2. Propiedades físicas de la leche	18
1.1.2.1 Apariencia	19
1.1.2.2 Densidad	19
1.1.2.3 Viscosidad	19
1.1.2.4 Punto de congelación	19
1.1.2.5 Punto de ebullición	19
1.1.2.6 pH y Acidez	19
1.1.3 Composición	20
1.1.3.4 Enzimas y carbohidratos	25
1.1.4 Estructura de la grasa	25
1.1.4.1 Composición química de la grasa	27
1.2 CREMA DE LECHE	29
1.2.1 Definición	29
1.2.1 Propiedades de la crema de leche	31
1.2.1.1 Propiedades organolépticas	31
1.2.1.2 Propiedades físicas	31
1.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA DE LECHE	35
1.3.1 Recepción de la leche	35
1.3.2 Enfriamiento Previo.	35
1.3.3 Descremado	35
1.3.4 Estandarización	35
1.3.5 Homogenización	36
1.3.6 Tratamiento térmico	38
1.4 SINÉRESIS	41
2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA CREMA DE LECHE EN ALQUERÍA	44
2.1 RECEPCIÓN DE LA LECHE	44
2.1.1 Prueba organoléptica	45
2.1.2 Prueba de limpieza	45

2.1.3 Recuento de bacterias	45
2.2 ALMACENAMIENTO DE LA LECHE CRUDA	45
2.3. HIGIENIZACIÓN DE LA LECHE	45
2.4. DESCREMADO	46
2.5 TRATAMIENTO TÉRMICO	46
2.6 ALMACENAMIENTO Y ENVASADO	47
2.7 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA CREMA DE LECHE EN ALQUERÍA	52
3. EXPERIMENTACIÓN	60
3.1 ENSAYOS PLANTA PILOTO	60
3.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	66
4. PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA DE LECHE	76
5. CONCLUSIONES	82
4. RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFIA	85
ANEXOS	87

## LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Características de la leche	17
Tabla 2. Composición de leche	20
Tabla 3. Proteínas de la leche	21
Tabla 4. Componentes de la caseína	22
Tabla 5. Composición de la grasa	28
Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos para la recepción de la leche.	44
Tabla 7. Especificaciones crema de leche	48
Tabla 8. Valores promedio de las pruebas de recepción de la leche cruda.	52
Tabla 9. Valor promedio para las pruebas físicas de la crema de leche en silo.	54
Tabla 10. Valores promedios para las pruebas físicas de la crema de leche en producto terminado.	54
Tabla 11. Valores promedios de la viscosidad en silo y producto terminado.	55
Tabla 12. Seguimiento a lotes de producción de crema de leche.	57
Tabla 13. Volúmenes de ensayo Beaker 600 ml.	63
Tabla 14. Volúmenes de ensayo Beaker 1000 ml.	64
Tabla 15. Especificaciones tanque aséptico planta industrial	64
Tabla 16. Resultados experimentación sin homogenización.	66
Tabla 17. Resultados experimentación con homogenización	67
Tabla 18. Resultados del análisis de varianza.	68
Tabla 19. Media y desviación del porcentaje de grasa para los tratamientos.	70
Tabla 20. Consumo energético del homogenizador.	77
Tabla 21. Costo de operación del homogenizador según el flujo de crema de leche.	79
Tabla 22. Costos estabilizantes fórmula 1.	79
Tabla 23. Costos estabilizantes fórmula 3.	80
Tabla 24. Costo de la propuesta para cada flujo de crema de leche.	81

## LISTAS DE GRAFICAS

	pág
Gráfica 1. Curvas de clasificación de los fluidos	34
Grafica 2. Gráfico de interacciones entre los factores fórmula y nivel de volumen	69
Grafica 3. Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas sin homogenización.	70
Grafica 4. Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas con homogenización.	71
Grafica 5. Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas, sin homogenización y almacenadas con refrigeración.	72
Grafica 6. Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas, sin homogenización y almacenadas a temperatura ambiente.	73
Grafica 7. Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas, con homogenización y almacenadas con refrigeración.	73
Grafica 8. Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas, con homogenización y almacenadas a temperatura ambiente.	74
Gráfica 9. Comportamiento de la viscosidad de la crema de leche tratada sin y con homogenización.	75

## LISTAS DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Estructura de la micela de caseína	25
Figura 2. Estructura general del glóbulo de grasa de la leche bovina.	27
Figura 3 Grasa en la leche	30
Figura 4. Centrífuga	35
Figura 5. Ruptura de los glóbulos de grasa en la primera y segunda etapa de homogenización.	37
Figura 6. Homogenizador	37
Figura 7. Intercambiador de placas	41
Figura 8. Disposición de los glóbulos de grasa en el lactosuero.	42
Figura 9. Tanque aséptico.	48

## LISTA DE DIAGRAMAS

	pág
Diagrama 1 Proceso de producción de crema de leche en Alquería.	49
Diagrama 2. Diagrama del proceso de producción de crema de leche en planta piloto.	61
Diagrama 3. Proceso de producción de la crema de leche en Alquería con la adición de la unidad de homogenización.	77

## LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Graficas de analisis de propiedades para la leche cruda, producto terminado (crema de leche) en silos y producto terminado	88
Anexo B. Procedimiento de medicion de porcentaje de grasa (prueba de grasa por gerber)	94
Anexo C. Procedimiento de medicion de viscosidad	96
Anexo D. Muestra de imágenes ensayos planta piloto	99

## GLOSARIO

**FLUIDOS SEUDOPLASTICOS:** son fluidos que se caracterizan porque su viscosidad que disminuye al aumentar el gradiente de velocidad de deformación, la pérdida de viscosidad depende del esfuerzo realiza por la velocidad de deformación, pero no depende del tiempo.

**HOMOGENIZACION:** proceso industrial que provoca la ruptura de los glóbulos de grasa en otros mucho más pequeños, utilizado generalmente para la estabilización de la emulsión de grasa que tiende a separarse espontáneamente por acción de la gravedad.

**PASTEURIZACIÓN:** tratamiento térmico que se lleva a cabo en un rango de temperaturas moderas entre 70 y 80 °C durante 15 segundos, esto con el fin de eliminar microorganismos patógenos en la leche.

**PROCESO UHT:** el proceso UHT ( ultra alta temperatura) también es un tratamiento térmico que se lleva a cabo en un rango de temperaturas más alto, entre 135 y 145°C pero con un tiempo de retención más corto, entre 2 y 4 segundos, esto garantiza una completa destrucción de los microorganismos y un producto totalmente estéril.

**PRUEBA GERBER:** consiste en determinar el porcentaje de grasa mediante la separación de esta misma dentro de un recipiente medidor con dimensiones estandarizadas conocido como butirómetro. La muestra se trata con ácido sulfúrico y alcohol amílico que destruyen la membrana protectora de los glóbulos de grasa.

**SINERESIS:** es la expulsión o separación de la parte acuosa debido a la contracción del gel, afectando la calidad del producto porque la apariencia se ve afectada por líquido en la superficie. Los principales factores que causan sinéresis son: altas temperaturas, acidificación, excesivo tratamiento térmico y mecánico y bajo contenido de sólidos.

## RESUMEN

El proyecto de grado que se desarrolla a continuación pretende presentar una propuesta para mejorar el proceso de producción de la crema de leche en PRODUCTOS NATURALES DE LA SABANA ALQUERIA S.A alterado por el fenómeno de sinéresis, el cual repercute principalmente en el aspecto de la crema, ocurriendo una separación de fases en esta y el producto final no corresponde con el porcentaje de grasa que caracteriza a cada tipo de crema: light, semi y astepo, dicha afectación se ve reflejada en reclamaciones por parte de cliente y en pérdidas de producto y tiempo durante el proceso de producción. La crema de leche es uno de los productos que mayor consumo tiene en el mercado por lo que es de gran importancia para la empresa entregar al consumidor un producto con los mejores estándares de calidad

Para evaluar el impacto que tiene este fenómeno sobre la crema de leche, se realiza un diagnóstico del proceso para identificar los puntos en donde puede haber fallas, si los equipos están en las condiciones adecuadas y se tienen en cuenta las condiciones de operación del proceso. Se determina cuáles son las propiedades del producto que son afectadas por la sinéresis y se lleva a cabo un plan de experimentación a nivel laboratorio para determinar qué variables del proceso potencializan la sinéresis teniéndose en cuenta en esta instancia: la capacidad del tanque aséptico, la formulación de la crema en cuanto a los estabilizantes utilizados y la adición o no de una etapa de homogenización al proceso productivo.

Con los resultados obtenidos de la experimentación se realiza un análisis estadístico para identificar la opción que mejora las propiedades de la crema que son afectadas por la sinéresis y con esto evaluar los costos que implicaría dicha mejora en el proceso si se decide implementar.

**Palabras claves:** sinéresis, crema de leche, homogenización, porcentaje de grasa, estabilizantes.

## INTRODUCCION

PRODUCTOS NATURALES DE LA SABANA ALQUERÍA S.A. se ha constituido en la actualidad en una de las empresas pioneras de distribución y comercialización de derivados lácteos, dentro de los productos manejados por esta empresa se encuentra la crema de leche semientera la cual que genera grandes ingresos económicos estableciéndose como uno de los productos líderes dentro de la organización.

El proceso de producción para la crema de leche presenta falencias en cuanto a calidad y estabilidad del producto, la alteración del porcentaje de grasa es debido a un fenómeno físico llamado sinéresis, que consiste en la separación de la fase acuosa y el contenido rico en grasa, proteínas, minerales entre otros componentes, generando dificultades para la empresa ya sea por inconformidades de parte del consumidor al recibir un producto con porcentaje de grasa inferior al especificado en la etiqueta del empaque o por otro lado, el hecho de distribuir crema con un contenido superior al estimado se traduce en pérdidas económicas para Alquería.

Según lo dicho anteriormente el contenido de éste proyecto se fundamenta en el desarrollo del análisis del proceso, empezando por la definición del producto en cuanto a su composición y producción, posteriormente realizando un diagnóstico de proceso en Alquería, localizando las variables que incrementan u originan la sinéresis en la crema de leche, para poder efectuar un estudio de carácter experimental en el cual se establezcan la o las causas del problema y dar una alternativa que contribuya a la mejora de la calidad del producto, donde se pueda ver reflejado el descenso del fenómeno de sinéresis en el proceso, brindando finalmente a la empresa contenido útil a tener en cuenta para futuras implementaciones de mejora en el proceso específico de obtención de crema de leche, si así se desea por parte de los directivos encargados para tal caso.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Proponer una alternativa de mejora en el proceso de la crema de leche que disminuya los impactos producidos por el fenómeno de sinéresis.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diagnosticar el proceso actual de la producción de crema de leche.
- Evaluar las propiedades físicas de la crema de leche que son afectadas por la sinéresis en el proceso de producción a nivel laboratorio.
- Identificar las variables de proceso que potencializan la generación del fenómeno de sinéresis en la crema de leche.
- Determinar los costos involucrados en la posible implementación al problema presentado en Productos Naturales de la Sabana Alquería S.A. Sede Enrique Cavelier.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 LECHE

La leche es una sustancia de origen biológico segregada por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos, de composición compleja, blanco y opaco, de sabor dulce y pH cercano a la neutralidad, constituida por diversos componentes como azúcares, proteínas, minerales, grasas que actúan como fuente de energía, agua, vitaminas B1 y B2, A y D; que la hacen uno de los alimentos más completos de la naturaleza. Es una emulsión de grasa en agua, donde aproximadamente el 87 % es agua y el resto es materia suspendida o disuelta en el agua (ver **Tabla 1**). La leche con mayor uso y comercialización en la industria es la bovina, donde las características pueden variar dependiendo de la incidencia de diferentes factores como: la raza del animal, edad de la hembra, época del año en la cual se realiza el ordeño, tipo y frecuencia de alimentación y la geografía en la cual se localiza el animal<sup>1</sup>.

**Tabla 1.** Características de la leche

	Composición media %	Emulsión tipo aceite/agua	Suspensión / solución coloidal	Solución verdadera
<b>Humedad</b>	87.0			
<b>Grasas</b>	4.0	X		
<b>Proteínas</b>	3.5		X	
<b>Lactosa</b>	4.7			X
<b>Cenizas</b>	0.8			X

Fuente: Manual de la industria láctea

---

<sup>1</sup> ALAIS, Charles. Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera, 4 edición 2003.

**1.1.1 Características.** En cuanto a las características fundamentales de la leche, se nombran las siguientes:

**1.1.1.1 Heterogeneidad.** Es una emulsión grasa en agua y presenta forma globular, presenta una suspensión de material con gran aporte en nutrientes en un suero formado fundamentalmente por lactosa (azúcar con mayor contenido en la leche) y minerales. Dentro de la composición de este líquido se destacan cuatro componentes: proteínas (albuminoides y caseína), lactosa, grasa y sales; contenidos en un mayor porcentaje. Las vitaminas, nucleótidos, lecitina (grupo de lípidos) y enzimas tienen presencia pero con un contenido significativamente más bajo<sup>2</sup>.

**1.1.1.2 Alterabilidad.** Al ser un alimento de origen natural, se ve afectado por el crecimiento y la proliferación de microorganismos que pueden degradar diferentes componentes presentes en la leche, especialmente la lactosa, derivando esta degradación en la producción de ácido y consigo la pérdida de las propiedades organolépticas comunes en la leche como el olor y el sabor. Otros de los agentes que alteran las propiedades de la leche es la acción de la temperatura. Es por esto que todos los procesos relacionados a la producción y comercialización de la leche deben ir enfocados principalmente contra el crecimiento de microorganismos, garantizando el producto para el consumo humano.

**1.1.1.3 Variabilidad en la composición.** El ciclo de la lactancia del animal es muy importante al momento de determinar la composición y la calidad de la leche, en la etapa del nacimiento, el animal segrega el llamado Calostro que difiere en gran medida de la leche respecto al contenido de sales minerales y proteínas; la salud del animal en el momento de la lactancia también es una instancia importante ya que puede segregar leche patológica y por lo tanto no apta para el procesamiento y posterior consumo.

**1.1.2. Propiedades físicas de la leche.** Considerando la leche en su conjunto y sus componentes más esenciales, se tienen un grupo de propiedades específicas que dependen ya sea de la totalidad de sus componentes, de las sustancias disueltas o de sus iones. Algunas de las propiedades más generales de este producto se describen a continuación teniendo en cuenta que son tomadas como criterios de aceptación en el procesamiento de la leche.

---

<sup>2</sup> ALAIS, Charles. Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera, 4 edición 2003.

**1.1.2.1 Apariencia.** La apariencia característica de la leche se debe a la presencia de partículas en suspensión, de grasa, proteínas y sales minerales. El color que varía de blanco a amarillo es producto de la presencia del caroteno, pigmento que le da color a la fase grasa. En cuanto a su sabor son los componentes como los cloruros y la lactosa quienes caracterizan esta propiedad sensorial, un defecto en el sabor puede ser debido a la alimentación del mamífero, del ambiente y utensilios usados en el ordeño o durante su conservación.

**1.1.2.2 Densidad.** La densidad de la leche se encuentra entre los valores 1.028 y 1.038 g/cm<sup>3</sup>, como es de esperarse no tiene un valor fijo debido a su composición<sup>3</sup>. Esta propiedad varía dependiendo de la concentración de elementos disueltos y en suspensión no grasos, cuya relación con estos factores es proporcional.

**1.1.2.3 Viscosidad.** El valor elevado de la viscosidad de la leche en comparación con la del agua, se debe a la estructura globular de la grasa y a las macromoléculas proteicas; por lo que cualquier modificación sobre estos componentes alterará esta propiedad. Son varios los factores que afectan la forma estructural de la leche como lo es la temperatura que disminuye la viscosidad cuando esta aumenta. Por otro lado, la homogenización la modifica al igual que los factores que producen variación en el estado de hidratación de las proteínas<sup>4</sup>.

**1.1.2.4 Punto de congelación.** El punto de congelación de la leche de vaca varía entre -0,54 y -0,59°C, esta propiedad es un parámetro confiable para verificar si ha sido adulterada con agua<sup>5</sup>. Cuando la leche es sometida a un tratamiento térmico a alta temperatura ocurre que algunos fosfatos precipitan y esto hace que aumente el punto de congelación.

**1.1.2.5 Punto de ebullición.** La leche presenta un punto de ebullición por encima de los 100°C, entre los valores 100,15°C y 100,17°C<sup>6</sup>.

**1.1.2.6 pH y Acidez.** El pH de una solución indica la acidez actual o real de esta, la leche es un producto ligeramente ácido con valores de pH entre 6,5 y 6,7 a temperatura ambiente, consecuencia de la presencia de caseína, aniones fosfórico y cítrico que varían dependiendo del tipo de alimentación y ciclo de lactación del mamífero.

El parámetro de acidez de la leche es el resultado de una valoración de la cantidad necesaria de una solución de iones hidroxilo con concentración determinada para

---

<sup>3</sup> TETRA PACK, Manual de industria láctea, 1996.

<sup>4</sup> ALAIS, Charles. Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera, 4 edición 2003.

elevar el valor de pH de una muestra de leche hasta un valor de 8,4 consiguiendo el cambio de color de la muestra por la presencia de un indicador. Los valores para el pH y la acidez no están ligados, puede ocurrir que para diferentes muestras de leche con un mismo pH y buen estado de calidad, el parámetro de la acidez sea diferente e inverso, que éste último sea el mismo con valores de pH diferentes.

**1.1.3 Composición.** La composición de la leche varía según diversos factores como la raza del animal, la alimentación de este, entre otros. Por lo tanto existen unos límites generales en los que varían los principales componentes de la leche (ver Tabla 2).

**Tabla 2.** Composición de leche

<b>Constituyente Principal</b>	<b>Límites de variación (%)</b>	<b>Valor medio (%)</b>
<b>Agua</b>	85,5 - 89,5	87,5
<b>Sólidos totales</b>	10,5 - 14,5	13
<b>Grasa</b>	2,5 - 6	3,9
<b>Proteínas</b>	2,9 - 5	3,4
<b>Lactosa</b>	3,6 - 5,5	4,8
<b>Minerales y Vitaminas</b>	0,6 - 0,9	0,8

Fuente: Manual de industria láctea

**1.1.3.1 Agua.** La leche en su mayor parte se compone de agua teniendo un porcentaje aproximado del 87%, factor que influye directamente en el crecimiento óptimo de microorganismos<sup>7</sup>.

**1.1.3.2 Vitaminas y Minerales.** La leche es gran fuente de vitaminas tanto hidrosolubles como liposolubles, debido a los tratamientos térmicos que se le hacen para prolongar su tiempo de vida útil, hay gran pérdida de las primeras, quedando como aporte vitaminas liposolubles como la D, K, A y algunas del complejo B como la B1 y la B2, en cuanto a los minerales la leche es la principal fuente de calcio y en menor proporción de fósforo.<sup>8</sup>

<sup>5</sup> TETRA PACK, Manual de industria láctea, 1996.

<sup>6</sup> ALAIS, Charles. Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera, 4 edición 2003.

<sup>7</sup> ALAIS, Charles. Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera, 4 edición 2003.

<sup>8</sup> ALAIS, Charles. Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera, 4 edición 2003.

**1.1.3.3 Proteínas.** Las proteínas representan alrededor del 3 al 4 % de la composición de la leche, la proteína más importante en este alimento es la caseína que constituye el 78% aproximadamente del contenido proteico adicional a un 17% de proteínas del suero y 5% de sustancias nitrogenadas no proteicas (ver Tabla 3)<sup>9</sup>. La caseína se usa industrialmente para la obtención de productos alimentarios (cárnicos, productos de repostería) y no alimentarios (pegamentos, pinturas, plásticos)<sup>10</sup>.

En la leche se encuentran varios tipos de proteínas, entre ellas:

- Holoproteínas: formadas por solo aminoácidos; por ejemplo, betalactoglobulina y alfa lacto albúmina.
- Fosfoproteínas: contienen ácido fórfico ligado a un hidroxiaminoácido; por ejemplo, las alfa y beta caseínas
- Glicoproteínas: contienen una parte glucídica; por ejemplo, las globulinas
- Fosfoglicoproteínas: contienen ácido fosfórico y carbohidratos; por ejemplo, la gamma caseína.
- Lipoproteínas: contienen ácidos grasos; por ejemplo, los fosfolípidos y carotenoides.
- Además de estas, se encuentran las metaloproteínas y otras<sup>11</sup>.

**Tabla 3.** Proteínas de la leche

<b>Detalle</b>	<b>Gramos en un kilo de proteína</b>	<b>Gramos en un litro de leche</b>
<b>Proteína total</b>	1.000	32
<b>Caseína entera</b>	780	25
Alfa caseína	312	10
Beta caseína	234	7,5
Gamma caseína	117	3,8
Diversas Caseínas	117	3,7

<sup>9</sup> REVILLA, Aurelio. Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis, segunda edición, 1982.

<sup>10</sup> CASTRO RIOS, Katherine. Tecnología de alimentos, 2010

<sup>11</sup> ALAIS, Charles. Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera, 4 edición 2003.

<b>Proteínas del suero</b>	170	5,4
Beta lactoglobulina	85	2,7
Alfa lactoalbúmina	38	1,2
Globulinas	21	0,65
Seroalbúmina	9	0,25
Proteosomas - peptonas	17	0,6
Sustancias nitrogenadas no proteicas	50	1,6

Fuente: Tecnología de la leche

- **Caseína.** Está compuesta de proteínas fosfatadas y contiene también calcio con el cual forma un complejo calcio caseína. La caseína es el componente principal de la proteína de la leche y representa cerca del 78% de la proteína total, además de participar en muchos procesos tecnológicos. La caseína es única en su naturaleza y no existe ninguna sustancia parecida en la sangre ni en los tejidos del animal. La caseína se encuentra en la leche en forma de pequeñas partículas o micelas de caseína en suspensión y carece de homogeneidad ya que consta de varias fracciones (ver Tabla 4)<sup>12</sup>. La caseína puede ser precipitada en la leche por medio de ácidos diluidos que bajen el pH a 4,6 con alcohol o con la enzima renina.

**Tabla 4.** Componentes de la caseína

Fracción	Porcentaje
Alfa caseína	45 a 63
Beta caseína	19 a 28
Gamma caseína	3 a 7
Sigma caseína	

Fuente: Tecnología de alimentos.

<sup>12</sup> REVILLA, Aurelio. Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis, segunda edición, 1982.

Cuando es precipitada con ácidos se libera del calcio; con alcohol se precipita en forma de caseinato de calcio y con renina, normalmente considerada como cuajo, lo hace en forma de paracaseinato de calcio y contiene más calcio que el caseinato de calcio.

La caseína pura no se precipita con la aplicación de calor, pero cuando se encuentra en la leche puede precipitarse a 100°C después de 12 horas, o cuando es expuesta a 120°C por una hora, aunque si la leche está ligeramente acida la aplicación de poco calor precipita la caseína<sup>13</sup>.

La caseína es también conocida como la proteína insoluble de la leche y gracias a su coagulación es factible la obtención de diversos productos. En la separación de la crema la mayor parte de la caseína queda con la leche desnatada<sup>14</sup>.

Cuando la caseína se encuentra en una disolución comparable con el suero pero con poco calcio iónico, se forman agregados pequeños y esféricos. Miden 12-15 nm de diámetro y cada uno de ellos contiene 20-25 moléculas de caseína. En estas submicelas, las moléculas se mantienen unidas mediante enlaces hidrofóbicos. Probablemente, la mayoría de las partes hidrofóbicas de las moléculas están encerradas en el centro de las submicelas, mientras que muchos de los grupos cargados están en la capa externa más hidrofílica<sup>15</sup>.

Cada submicela contiene diferentes moléculas de caseína, pero no todas las submicelas presentan la misma composición. Esencialmente hay dos tipos principales de submicelas, con o muy poca caseína *k*. La caseína *k* posee una cadena de tres carbohidratos que constituye la parte más hidrofílica, son los llamados “pelos” de la micela.

Añadiendo un exceso de calcio y fosfato, como ocurre en las células secretoras de la glándula mamaria, se produce la agregación de las submicelas en unidades más grandes, que son las micelas de caseína (ver **Figura 1**). La explicación de esta agregación es posiblemente que la deposición de fosfato cálcico en las submicelas reduce su carga eléctrica y las hace más compactas. En consecuencia, las submicelas se atraen, aunque sea débilmente, y se produce la agregación con la

---

<sup>13</sup> REVILLA, Aurelio. Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis, segunda edición, 1982.

<sup>14</sup> REVILLA, Aurelio. Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis, segunda edición, 1982.

<sup>15</sup> ROMERO DEL CASTILLO SHELLY, Roser; MESTRES LAGARRIGA, Josep. Productos Lácteos: Tecnología, 2004.

ayuda de iones calcio y magnesio. Cuando dos submicelas se aproximan entre si y los pelos protuberantes de la caseína  $k$  de al menos una de ellas quedan en medio, no se pueden unir. Esto implica que la agregación de las submicelas tiene lugar hasta que se forma un agregado esférico con la superficie cubierta por una capa más o menos continua de pelos de caseína  $k$ . Si otras submicelas (o sus agregados) se aproximan, no pueden unirse a la micela ya formada<sup>16</sup>.

La micela es un agregado bastante denso de submicelas. Éstas contienen pequeñas regiones (que suelen llamarse nanoclusters) de fosfato cálcico, de las que también forman parte los residuos de fosfato-serina de la caseína. La mayoría de la parte terminal de las moléculas de la caseína  $k$  se colocan fuera de la micela, proyectándose hacia la solución en forma de pelos flexibles que desempeñan un papel fundamental en la estabilidad de las micelas. Es posible que entre las submicelas se establezcan también interacciones proteína-proteína.

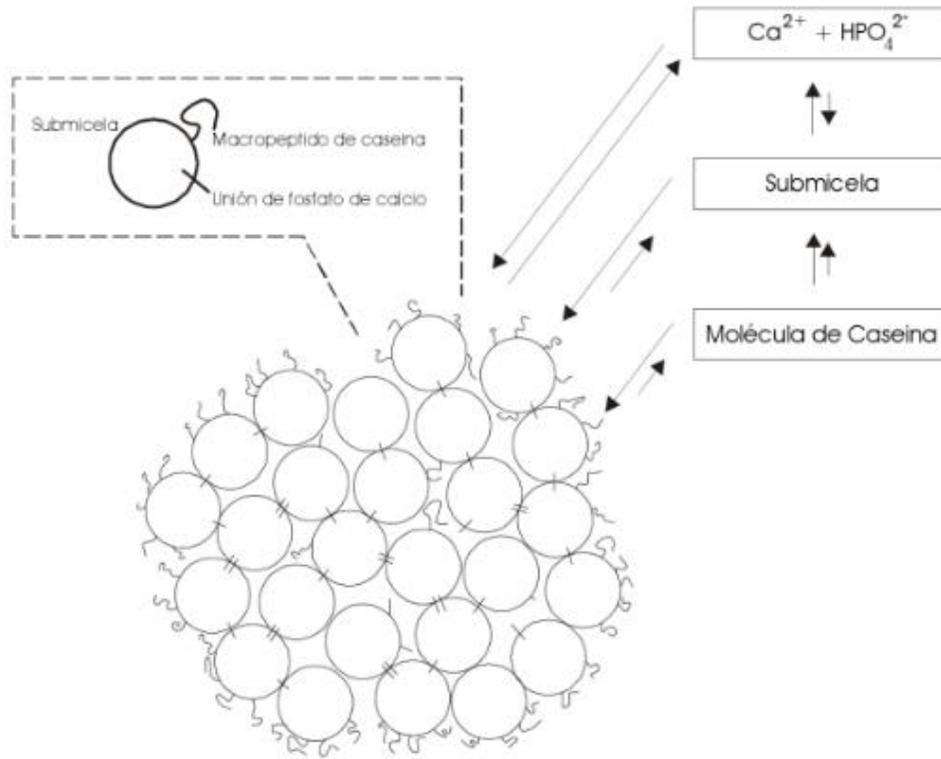
Durante la conservación de la leche o sus derivados las micelas de caseína se alteran lentamente, debido a que no hay un verdadero estado de equilibrio termodinámico entre las micelas y su entorno. La principal modificación es la proteólisis de la caseína  $\beta$  por la enzima plasmina, con la formación de caseína  $\gamma$  y proteosa-peptona; parte de la proteosa-peptona pasa al suero. El fosfato pasa a formas más estables asociado a la caseína de otra forma o constituyendo un precipitado que se separa de la micela. Además, las micelas de caseína se modifican como consecuencia de cambios en las condiciones externas, especialmente la temperatura y el pH. Algunas de estas alteraciones son reversibles, pero otras no lo son, o solo parcialmente<sup>17</sup>.

---

<sup>16</sup> ROMERO DEL CASTILLO SHELLY, Roser; MESTRES LAGARRIGA, Josep. Productos Lácteos: Tecnología, 2004.

<sup>17</sup> ROMERO DEL CASTILLO SHELLY, Roser; MESTRES LAGARRIGA, Josep. Productos Lácteos: Tecnología, 2004.

**Figura 1.** Estructura de la micela de caseína



Fuente: Productos lácteos: Tecnología.

**1.1.3.4 Enzimas y carbohidratos.** El uso de tratamientos térmicos para la conservación de la leche es un factor de destrucción de las enzimas contenidas en la leche, las cuales sirven como medio de análisis para la efectividad de estos tratamientos térmicos, enzimas como: lipasa, fosfatasa, reductasa y catalasa forman parte de la composición de la leche. Los carbohidratos constituyen el 5% aproximado en la composición de la leche, destacándose la lactosa, azúcar frente a la cual se puede presentar intolerancia al ingerirse.

**1.1.4 Estructura de la grasa.** La grasa de la leche está formada por varios compuestos que hacen de ella una sustancia de naturaleza relativamente compleja y la responsable de ciertas características especiales que posee la leche. La grasa interviene directamente en la nutrición y otras propiedades físicas de la leche y sus derivados.

Nutrición. La grasa de la leche contribuye en forma significativa a su valor nutricional ya que comparada con otras grasas es una buena fuente de energía y rinde

aproximadamente nueve calorías por gramo de grasa, además de servir como medio de transporte de las vitaminas liposolubles A, D, E y K. el caroteno, que da origen a la vitamina A, da a la leche el color crema. Debido a que las vitaminas se encuentran en pequeñas cantidades, es aconsejable fortificar la leche con vitamina D y también con vitamina A.

La grasa de la leche se encuentra altamente emulsificada y ella facilita su digestión; por el hecho de contener más ácidos grasos de cadena corta que de cadena larga.

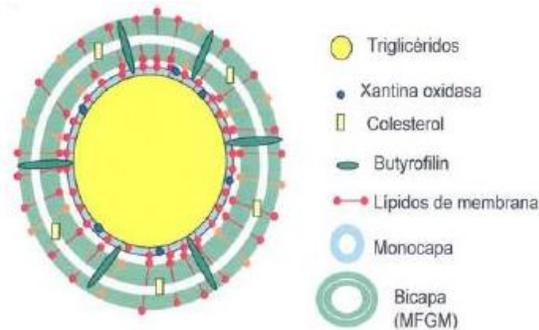
Sabor. El sabor de la leche y de los productos lácteos está íntimamente relacionado con el contenido graso de éstos. Para algunos consumidores la unión (contextura) y la disposición (textura) de las partes que forman los productos lácteos están íntimamente relacionadas con el sabor. Otros pueden apreciar en forma separada la fina contextura y textura. La grasa imparte suavidad, finura y agradable sensación a los productos en que ella forma parte, y en su ausencia el producto resulta desabrido, duro, arenoso o aguado<sup>18</sup>.

La grasa de la leche se encuentra en forma de pequeños glóbulos en emulsión temporal; no son visibles a simple vista pero pueden ser observados con la ayuda de un microscopio, utilizando su lente u objetivo de pequeño aumento; cada glóbulo posee un núcleo (triglicéridos) rodeado de una película, ésta última llamada también membrana, muy compleja y formada de varias capas. La capa inmediata al núcleo está constituida por triglicéridos de elevado punto de fusión que encajan en una capa de fosfolípidos, y que además contienen moléculas de vitamina A y colesterolina. La capa de fosfolípidos está rodeada por la proteína de la membrana, cuya estructura es similar a la de la globulina. A la proteína de la membrana se le atribuye la capacidad de dispersión de la grasa en la leche y es en ésta capa donde también se encuentran algunas enzimas (fosfatasa), metales pesados y sales; la superficie de la película posee carga eléctrica (ver **Figura 2**).

---

<sup>18</sup> REVILLA, Aurelio. Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis, segunda edición, 1982.

**Figura 2.** Estructura general del glóbulo de grasa de la leche bovina.



Fuente: Síntesis, composición y modificación de la grasa de la leche bovina

Los glóbulos grasos forman racimos a medida que se elevan, debido a su menor peso específico en comparación con el líquido que los rodea, y forman una capa de crema en la superficie del líquido<sup>19</sup>.

**1.1.4.1 Composición química de la grasa.** La grasa de la leche está compuesta de triglicéridos o esteres de ácidos grasos con glicerol en un 98%, fosfolípidos de 0,5 a 1% y otras sustancias alrededor del 1% (ver Tabla 5). Las sustancias de estos dos últimos grupos tienen gran influencia en las propiedades físicas y biológicas de la grasa.

La grasa de la leche probablemente contiene más ácidos grasos que cualquier otra grasa ya que hasta la fecha se han identificado cerca de 60 ácidos grasos. La cantidad de ácidos grasos saturados que se encuentra en la grasa es de aproximadamente 62%, ácidos grasos no saturados 33%, y ácidos grasos no saturados con dos, tres, cuatro y cinco enlaces dobles, 4%. También se sabe que la mayor parte de los ácidos grasos están formados por ácidos volátiles de bajo peso molecular<sup>20</sup>.

Los principales ácidos grasos que forman parte de la grasa son:

#### **-Ácidos saturados**

Volátiles solubles: butírico y caproico

<sup>19</sup> REVILLA, Aurelio. Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis, segunda edición, 1982.

<sup>20</sup> REVILLA, Aurelio. Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis, segunda edición, 1982.

Volátiles insolubles: caprílico, cáprico y láurico  
 Fijos: mirístico, palmítico, esteárico y araquídico.

**-Ácidos no saturados**

Un doble enlace: oleico  
 Dos enlaces dobles: linoleico  
 Tres enlaces dobles: linolénico  
 Cuatro enlaces dobles: araquidónico

**Tabla 5.** Composición de la grasa

Detalle	En 100 gramos de grasa	En 100 gramos de leche
Triglicéridos	97-98 gramos	342-346 gramos
Diglicéridos	250-480 miligramos	
Monoglicéridos	16-38 miligramos	
Otros glicéridos	872-1318 miligramos	
Ácidos grasos libres	100-444 miligramos	7-35 miligramos
Fosfolípidos	200-1000 miligramos	
Cerebrocidos	13-66 miligramos	
Esteroles	220-410	7-14 miligramos

**Tabla5.** (Continuación)

Detalle	En 100 gramos de grasa	En 100 gramos de leche
Carotenoides	700-900 microgramos	28-35 microgramos
Vitamina A	600-900 microgramos	71-86 U.L.
Vitamina D	1-2 microgramos	
Vitamina E	2400 microgramos	7-175 microgramos
Vitamina K	100 microgramos	

Fuente: Tecnología de la leche

## 1.1 CREMA DE LECHE

**1.2.1 Definición.** La leche contiene materia grasa, dispersa en el medio acuoso en forma de glóbulos de forma esférica, con un diámetro de 0,15 a 15 micras, y formando una emulsión (ver Figura 3). La materia grasa es, tal vez, el componente de la leche que presenta mayor variabilidad, tanto en proporción dentro del volumen como en el tipo de materia que la compone, está formada por una serie grande de sustancias químicas naturales (se han detectado más de 450 diferentes), que se pueden clasificar en dos tipos principales: lípidos y compuestos liposolubles. Los lípidos son grasas (liquidadas, semilíquidas y solidas), y los compuestos liposolubles son sustancias que se disuelven en las grasas (tales como las vitaminas A, D, E y K, etcétera)<sup>21</sup>.

La materia grasa es, también, el componente más inestable de la leche, sujeto a los efectos físicos, químicos y mecánicos, lo que causa que se dañen o aglomeren los glóbulos de grasa. Por ello el manejo de las leches y productos lácteos es delicado, especialmente al bombear, agitar o calentarlos.

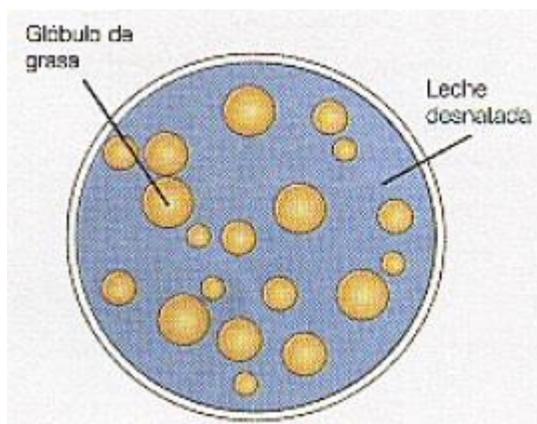
La separación de la materia grasa de la leche proporciona dos productos: la leche descremada (o semidescremada) y la crema. Se entiende por crema al alimento en el que se ha reunido la mayor parte de grasa se la leche, ya sea por reposo o por centrifugación, sometida al proceso de pasteurización, ultrapasteurización, esterilización o cualquier otro tratamiento que asegure su calidad sanitaria. Es, en efecto, una leche enriquecida en grasa<sup>22</sup>.

---

<sup>21</sup> SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL, Yoghurt y crema. Guías empresariales, 2000

<sup>22</sup> SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL, Yoghurt y crema. Guías empresariales, 2000

**Figura 3** Grasa en la leche



Fuente: Manual de la industria láctea.

**1.2.2 Clasificación.** De forma general, los tipos de crema de leche varían en relación a aspectos como: tratamiento térmico usado para la producción, porcentaje de grasa y el uso o aplicación del producto. En Productos Naturales de la Sabana Alquería S.A. Sede Enrique Cavelier distribuye tres tipos de crema de leche, las cuales varían en proporción al contenido de grasa: crema light 19% al 21%, crema semidescremada 30% al 34% y crema entera o Astepo 35% al 40%, teniendo en cuenta que sin importar el porcentaje de grasa de la crema, todas las variedades llevan un tratamiento de ultra alta pasteurización (UHT) dentro del proceso productivo, teniendo infinidad de aplicaciones en la industria de alimentos y en el mercado en general.

## 1.2.1 Propiedades de la crema de leche

**1.2.1.1 Propiedades organolépticas.** La crema de leche es una sustancia líquida más o menos viscosa, de un color blanco amarillento. La textura también es una propiedad que se tiene en cuenta para calificar la calidad del producto en cuanto a la presencia de grumosidad u otros contrastes, también es un factor que también varía dependiente de la cantidad de grasa. Y en cuanto al sabor, se controla que este no esté rancio pues es un indicio de que existe un defecto en la acidez.

### 1.2.1.2 Propiedades físicas

- **pH.** El valor del pH de la crema de leche se encuentra entre 6,3 y 6,8 y es un factor clave para determinar la calidad del producto durante su proceso de producción y en el resultado final. Factores como la adición de sustancias como aditivos y la acción de microorganismos, hacen que el valor del pH varíe y esto ocasiona la desnaturalización de las proteínas que desestabilizan la emulsión presentándose precipitación de estas últimas<sup>23</sup>.
- **Acidez.** El índice de acidez mide la actividad lipásica y representa la cantidad de álcali normal necesarios para neutralizar 100 gramos de graso, es un factor que favorece indirectamente la oxidación. Para referirse a la acidez en la crema de leche, la acidez no tiene significado más que en relación con la fase acuosa.
- **Densidad.** La densidad de la crema de leche disminuye con respecto a la de la leche porque este parámetro varía de manera inversa con la cantidad de materia grasa presente, los glóbulos de grasa tienen un densidad menor que la fase acuosa en la que se encuentra emulsionados fenómeno responsable que la parte grasa se eleve hacia la superficie, lo que permite la separación de la crema de leche y leche descremada.
- **Porcentaje de grasa.** La cantidad de materia grasa como se especificó anteriormente es un factor que clasifica el tipo de crema de leche en el proceso de producción, también se tiene en cuenta en el momento de aceptación o negación del producto. La materia grasa está constituida por tres clases de sustancias <sup>24</sup>

1. El 98% corresponde a la materia grasa que se refiere a triglicéridos.

---

<sup>23</sup> BEJARANO CHAPARRO, Juan Sebastián; TAMAYO MEJIA, Juan David. Evaluación del efecto del tiempo de maduración de la crema de leche para el

2. Entre 0,5% a 1% corresponde a las grasas fosforada, es decir, los fosfolípidos.
3. Alrededor del 1% son sustancias insaponificables, insolubles en agua y solubles en la grasa.

Aunque las dos últimas sustancias se presentan en menor cantidad, estas tienen incidencia en las propiedades químicas y biológicas de la leche. Los lípidos están dispersos en la leche en forma globular e inestable, las sustancias que componen la dispersión son las más sencillas de extraer sin que se modifiquen otros componentes.

La materia grasa se altera más lentamente que la lactosa, sus cambios generan mayores modificaciones en el sabor del producto y en menor medida en la estructura fisicoquímica de la leche. Los ácidos grasos que se encuentran presentes en mayor proporción en la crema de leche son los ácidos palmítico, mirístico, esteárico y oleico. Estos ácidos grasos son cristalizados en glóbulos mononucleares contenidos en una capa de triglicéridos que soportan las fuerzas de tensión provenientes del centro del glóbulo a causa de la disminución del volumen específico debido a la cristalización, esto provoca una inestabilidad de los glóbulos antes tratamientos de cristalización o mecánicos<sup>25</sup>.

En cuanto a los fosfolípidos, estos corresponden a una pequeña cantidad de grasa fosforada y aminada. Aunque su naturaleza es grasa tienen la fuerte capacidad de absorber agua, por lo que son hidrófilos formando un puente entre la fase acuosa y grasa. Un ejemplo de estos compuestos es la lecitina que se encuentra en la crema de leche con alto contenido de grasa en un porcentaje entre el 0,15 y 0,25, actúa como un agente emulsionante al hacer más estable la suspensión de la materia grasa.

Como ya se ha venido mencionando la materia grasa se encuentra dispersa en la leche en forma de glóbulos esféricos que tienen tendencia a reunirse en racimos. Se encuentran envueltos en una película protectora muy fina formada por el

---

mejoramiento de la calidad en productos naturales de la Sabana Alquería S.A. sede Enrique Cavelier, 2013.

<sup>24</sup> ALAIS, Charles. Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera, 4 edición 2003.

<sup>25</sup> BEJARANO CHAPARRO, Juan Sebastián; TAMAYO MEJIA, Juan David. Evaluación del efecto del tiempo de maduración de la crema de leche para el mejoramiento de la calidad en productos naturales de la Sabana Alquería S.A. sede Enrique Cavelier, 2013.

fenómeno de adsorción que impide que los glóbulos grasos se junten en una sola fase continua. Este fenómeno ocurre en todos los sistemas con pequeñas partículas de materia en contacto con líquido o gas, creándose considerables fuerzas de superficies responsables de la adsorción de moléculas. La membrana que cubre los glóbulos de grasa está formada por la asociación de tres sustancias: triglicéridos, fosfolípidos y proteínas. Entre la membrana protectora y el plasma existe un equilibrio que permite la modificación de la primera por cambios de temperatura que cambian el estado físico de la materia grasa.

La formación de crema tiene lugar en dos fases, la primera es la aglutinación de racimos enormes de glóbulos y le sigue el ascenso de estos mucho a la velocidad más rápidas que lo hacen los glóbulos individuales, las dimensiones de los racimos depende de la temperatura pero en general son voluminosos y firmes porque retienen más plasma.

- **Viscosidad.** La viscosidad de la leche y sus derivados se debe en mayor medida a la materia grasa en estado globular y a las macromoléculas proteicas por lo que toda modificación sobre estos componentes tendrá efecto sobre esta propiedad. La viscosidad de la leche es la resistencia a la subida de los glóbulos grasos para formar la crema, está relacionada inversamente con la velocidad a la que es expuesta pues la crema de leche se clasifica como un fluido pseudoplástico<sup>26</sup> (ver Gráfica 1).

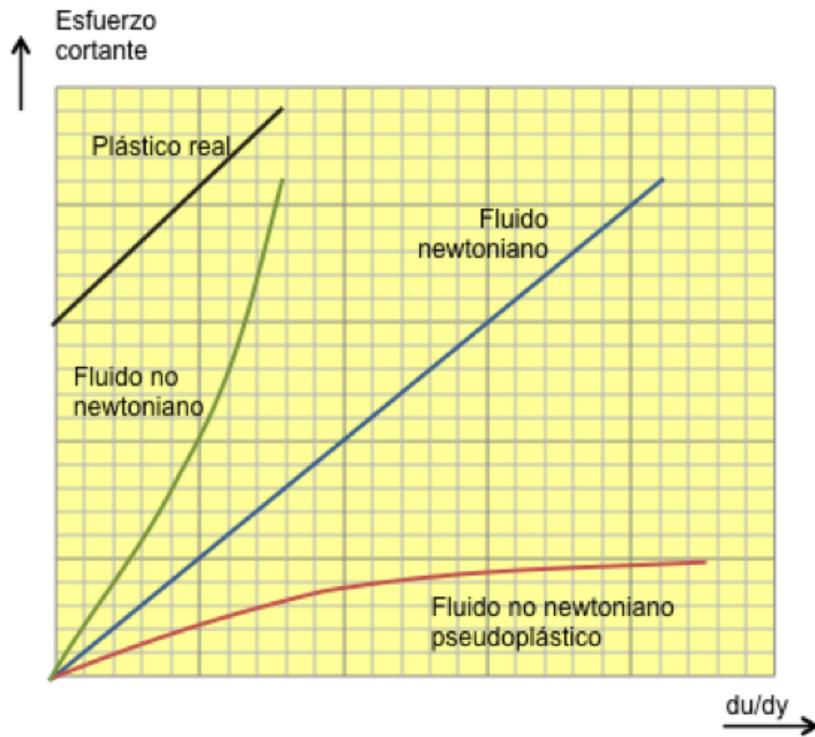
Entre otros factores que afectan la viscosidad de la crema de leche se encuentra la cantidad de macromoléculas proteicas que contenga y el tratamiento térmico al que es sometida. La crema de leche con un bajo contenido de grasa tiene una viscosidad relativamente baja, en el proceso de producción es importante tratarla a la temperatura y presión de homogenización adecuada para obtener un producto viscoso conforme. Esta propiedad aumenta con la presión y disminuye con el aumento de la temperatura, se recomienda que esta última sea lo más baja posible de manera que la grasa continúe siendo líquida<sup>27</sup>.

---

<sup>26</sup> ALAIS, Charles. Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera, 4 edición 2003.

<sup>27</sup> TETRA PACK, Manual de industria láctea, 1996.

**Gráfica 1.** Curvas de clasificación de los fluidos



Fuente: Manual de Industria Láctea.

## 1.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA DE LECHE

**1.3.1 Recepción de la leche.** El proceso que se lleva a cabo en la industria láctea para la producción de crema de leche inicia con la recepción de leche cruda. Las industrias tienen departamentos especiales de recepción para la leche, lo primero que se hace en la recepción es determinar la cantidad de leche recibida, así como llevar el control de calidad de la misma mediante análisis como: prueba de alcohol, acidez, índice crioscópico, porcentaje de grasa, densidad, pH, recuento de bacterias, pruebas de higiene.

**1.3.2 Enfriamiento Previo.** Durante el transporte de la leche se incrementa ligeramente la temperatura por encima de 4°C. Por esto, la leche es normalmente enfriada por debajo de ésta temperatura en un intercambiador de placas, antes de su almacenamiento.

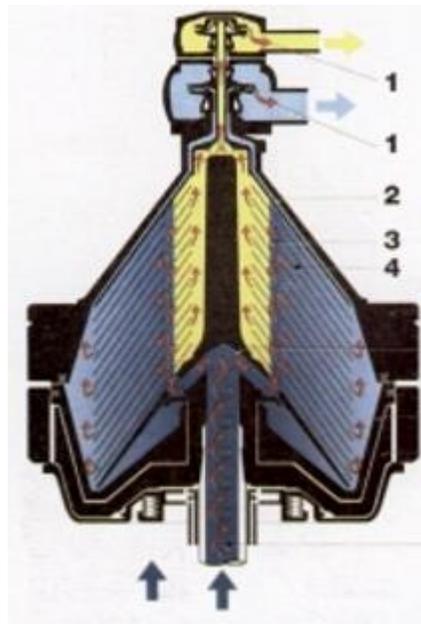
**1.3.3 Descremado.** La leche se introduce a través de orificios de distribución alineados de forma vertical en los discos y situados a una cierta distancia del borde del paquete. Bajo la influencia de la fuerza centrífuga, los sedimentos y los glóbulos de grasa de la leche comienzan a sedimentar de forma radial, tanto hacia dentro como hacia fuera, en los canales de separación, según la densidad relativa con respecto al medio continuo (leche desnatada). La crema, tiene una densidad menor que la leche desnatada y, por lo tanto, se mueven por el interior de los canales hacia el eje de rotación, la crema sale por una abertura axial<sup>28</sup> (ver figura 4).

**1.3.4 Estandarización.** Durante la estandarización de productos lácteos, la crema y la leche se separan primero en una línea láctea. Luego, los dos elementos vuelven a mezclarse otra vez. Sin embargo, no todo el contenido de grasa original vuelve a agregarse, solo el nivel exacto requerido para la leche que se clasificará como descremada, semidescremada o entera (o la cantidad requerida de grasa para los diferentes productos a base de crema).

Figura 4. Centrífuga

---

<sup>28</sup> TETRA PACK, Manual de industria láctea, 1996



1. Bombas de salida
2. Carcasa del tambor
3. Orificio de distribución
4. Paquete de cascós

Fuente: Manual de la Industria láctea

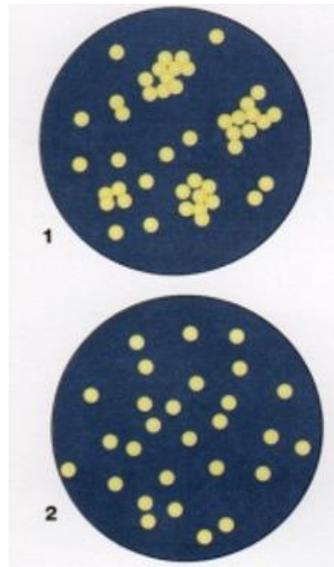
**1.3.5 Homogenización.** El propósito de esta operación es disminuir el tamaño de los glóbulos de grasa (ver Figura 5), evitando la desestabilización de la crema de leche, que si se llega a presentar provoca la separación de las dos fases de la crema: fase acuosa y fase de contenido graso. Se debe realizar la homogenización primero al tratamiento térmico con el fin de impedir que bacterias presentes en la crema (*Sarcinas sp* y *Staphylococcus sp*), las cuales se acumulan en forma de racimos, queden presentes en la crema de leche al ser removidas únicamente las de las superficie quedando aquellas bacterias situadas en el centro del racimo; si se realiza primero el tratamiento térmico las bacterias al estar sometidas luego a la homogenización se dispersan nuevamente en el producto, mientras que si se ejecuta primero la homogenización, ésta flora bacteriana va a ser eliminada eficientemente en el tratamiento térmico<sup>29</sup>.

La homogenización consiste en someter a los glóbulos de grasa a una disminución rápida de presión (entre 250 kg/cm<sup>2</sup> y 300 kg/cm<sup>2</sup>) pasando por un orificio, donde finalmente estallan reduciendo así su tamaño significativamente, el tamaño requerido de los glóbulos de grasa al terminar la homogenización es de 1 a 2 micrómetros (ver **Figura 6**).

<sup>29</sup> GOMEZ DE ILLERA, Margarita. Tecnología de lácteos, 2005.

La unidad de homogenización actualmente no se tiene en cuenta en la producción para la planta industrial de Cajicá a diferencia de las demás plantas a nivel nacional.

**Figura 5.** Ruptura de los glóbulos de grasa en la primera y segunda etapa de homogenización.

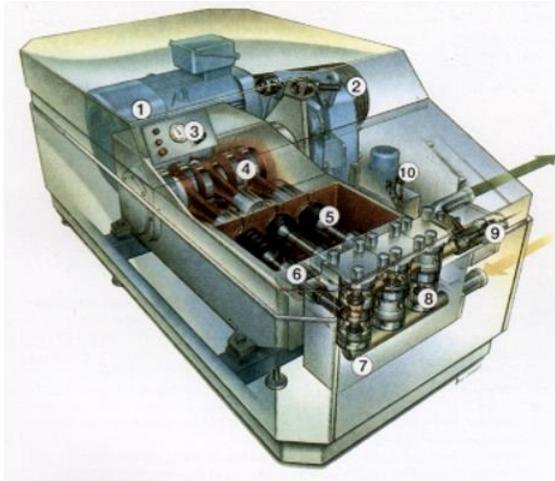


Fuente: Manual de la Industria láctea

**Figura 6.** Homogenizador

37

1. Motor de accionamiento
2. Transmisión de correas
3. Indicación de presión
4. Cigüeñal
5. Pistón
6. Cartucho de sellado de pistón



Fuente: Manual de la Industria láctea

**1.3.6 Tratamiento térmico.** El tratamiento térmico es una operación en donde se tienen en cuenta la combinación temperatura y tiempo para determinar la intensidad de este. Para los productos lácteos es muy importante desde el punto de vista microbiológico pero esto también conlleva el riesgo de defectos en el producto en cuando a su sabor, apariencia y valor nutritivo por lo que la elección del tratamiento térmico debe ser el adecuado desde el punto de vista microbiológico como desde el punto de vista de la calidad<sup>30</sup>. Existen diferentes categorías de tratamientos que varían en la temperatura y tiempo de permanencia del producto entre los que cabe resaltar la termización, pasteurización y ultra alta pasteurización UHT). En la termización se lleva el producto a una temperatura cercana a la de pasteurización: 63-65°C, durante 15 segundos y se realiza excepcionalmente cuando se manejan grandes cantidades de producto y no se puede pasteurizar y procesarlo todo. Para prevenir que las bacterias aerobias formadoras de esporas se multipliquen tras la termización se debe enfriar hasta una temperatura igual o menos a 4°C.<sup>31</sup>

La pasteurización de la crema es un proceso prácticamente indispensable para la producción de buena calidad. La pasteurización destruye todos los microorganismos patógenos, inactiva o destruye enzimas que causan problemas durante el almacenamiento de la crema. La pasteurización puede ser hecha por el método de sostenimiento, por el método a temperatura alta y tiempo corto, o por otros. Mediante el método de sostenimiento de la crema puede ser pasteurizada a

---

<sup>30</sup> TETRA PACK, Manual de industria láctea, 1996.

<sup>31</sup> TETRA PACK, Manual de industria láctea, 1996.

62,77°C durante 30 minutos, a 71,11°C durante 15 minutos y por ultimo a 76,66°C durante 5 minutos. En el método de temperatura alta-tiempo corto, la crema puede ser pasteurizada a 90-95°C durante 30 segundos<sup>32</sup>.

UHT es la abreviatura de Ultra High Temperature (temperatura Ultra elevada). Es una técnica aplicada para la conservación de la crema de leche y otros productos alimenticios líquidos, por exposición de los mismos a un breve pero intenso calentamiento, a temperaturas que suelen oscilar entre los 135 y 140°C. De esta forma se destruyen los microorganismos que podrían estropear los productos alimenticios. Es un proceso continuo que se desarrolla en un sistema cerrado, que impide que el producto se contamine. La crema pasa a través de etapas de calentamiento y enfriamiento, en rápida sucesión. Una parte integral del proceso es el envasado aséptico que elimina los riesgos de reinfección del producto<sup>33</sup>.

Se utilizan dos métodos alternativos de tratamiento UHT:

- Calentamiento indirecto y enfriamiento en intercambiadores de calor (ver **Figura 7**)
- Calentamiento directo por medio de inyección de vapor y enfriamiento por expansión bajo vacío.

En cuanto a nivel estructural de los productos lácteos esta es afectada tanto física como químicamente tras recibir un tratamiento térmico. Están los carbohidratos que reaccionan con el calor de dos maneras, la primera se trata de una caramelización que se evidencia por la aparición de sabores amargos y una pigmentación como el caramelo y la segunda reacción se debe a que los carbohidratos reaccionan con las proteínas formando pigmentos denominados melanoidinas<sup>34</sup>. La lactosa que es el carbohidrato presente en la crema de leche sufre una isomerización ante temperaturas superiores a los 100°C generando la  $\beta$ -lactosa,  $\beta$ -epilactosa y lactulosa, también puede ocurrir que la lactosa sufra hidrólisis disminuyendo el pH y por consiguiente su acidez, en este caso ocurre la precipitación de las proteínas generando coágulos.<sup>35</sup>

Las proteínas igualmente sufren alteraciones ante la exposición de calor que se conoce como desnaturalización, este consiste en el desdoblamiento de las cadenas de aminoácidos originando una desplegamiento de cadenas peptídicas con una nueva

---

<sup>32</sup> TETRA PACK, Manual de industria láctea, 1996.

<sup>33</sup> TETRA PACK, Manual de industria láctea, 1996.

<sup>34</sup> GOMEZ DE ILLERA, Margarita. Tecnología de lácteos, 2005

<sup>35</sup> GOMEZ DE ILLERA, Margarita. Tecnología de lácteos, 2005

confirmación disminuyéndole la solubilidad y aumentando la viscosidad<sup>36</sup>. También le ocurre a las proteínas una pérdida de aminoácidos esenciales lo que deteriora la calidad nutricional del alimento por la degradación de estas moléculas. Existe variedad de proteínas en la composición de la leche por lo que no todas se afectan de igual forma ante el tratamiento térmico. Por un lado están las caseínas que resisten en mayor medida al ser expuestas al calor, estas no propiamente se desnaturalizan si no que sufren una hidrólisis liberando sustancias nitrogenadas y fósforo a temperaturas superior a los 120°C durante 10 minutos<sup>37</sup>. En cuanto a la b-lactoglobulina es desnaturalizada generando grupos de sulfuro de hidrógeno responsables de que el producto tenga un sabor y olor de cocido, estos grupos azufrados tienen la ventaja de aportarle estabilidad a la emulsión al generar un complejo entre la b-lactoglobulina y la caseína.

En cuanto a las vitaminas y minerales presentes en la crema de leche se evidencia diferentes comportamientos de estos componentes, algunas vitaminas como A, E y D son más estables al calor que otras como la tiamina, el ácido fólico y vitaminas B6 y B12, la pérdida dependerá de la intensidad del tratamiento.

También se tiene en cuenta el tipo de transferencia de calor que predomina en el tratamiento, es decir, por el método directo las pérdidas de vitaminas es menor si el método es indirecto<sup>38</sup>.

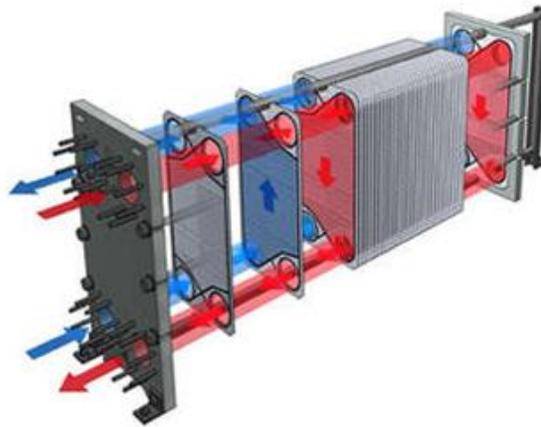
---

<sup>36</sup> GOMEZ DE ILLERA, Margarita. Tecnología de lácteos, 2005

<sup>37</sup> SARRIA RUIZ, Beatriz. Efectos del Tratamiento Térmico de Fórmulas Infantiles y Leche de Vaca Sobre la Biodisponibilidad Mineral y Proteica. 1998.

<sup>38</sup>BEJARANO CHAPARRO, Juan Sebastián; TAMAYO MEJIA, Juan David. Evaluación del efecto del tiempo de maduración de la crema de leche para el mejoramiento de la calidad en productos naturales de la Sabana Alquería S.A. sede Enrique Cavelier, 2013.

**Figura 7.** Intercambiador de placas



Fuente: Manual de la Industria láctea

## 1.4 SINÉRESIS

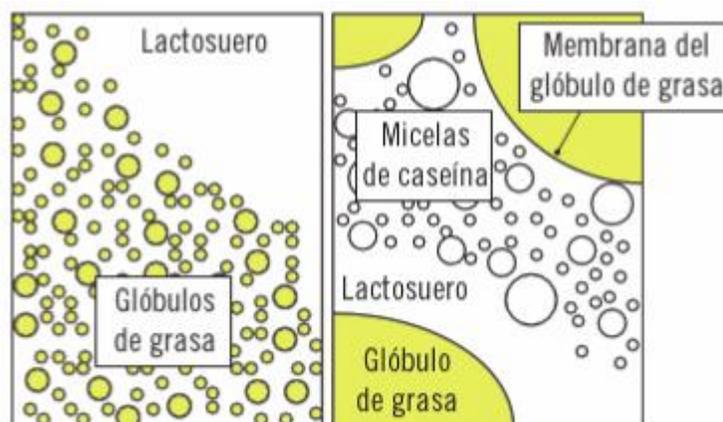
La sinéresis es la expulsión o separación del lactosuero (ver **Figura 8**) debido a la contracción del gel esto afecta la calidad de los productos lácteos, observándose líquido en la superficie. Es debido a la reacomodación de la red molecular de caseína después de la formación del gel. Los principales factores de procesos asociados con la sinéresis son: rápida acidificación, excesivo tratamiento térmico, bajo contenido de sólidos<sup>39</sup>. El incremento de la temperatura aumenta la velocidad de sinéresis, debido a la relajación de los enlaces y a la desnaturalización de las proteínas que forman la red de caseína. La capacidad de retención de agua y la sinéresis disminuyen cuando se incrementa el contenido de proteínas en los sólidos totales<sup>40</sup>.

---

<sup>39</sup> J.A LUCEY, M TAMEHANA, H SINGH, P.A MUNRO, A comparison of the formation, rheological properties and microstructure of acid skim milk gels made with a bacterial culture or glucono- $\delta$ -lactone, 1998.

<sup>40</sup> M. CASTILLO, J.A. LUCEY, T. WANG, F.A. PAYNE, Effect of temperature and inoculum concentration on gel microstructure, permeability and syneresis kinetics. Cottage cheese-type gels, 2005.

**Figura 8.** Disposición de los glóbulos de grasa en el lactosuero.



Fuente: Recepción y almacenamiento de la leche y otras materias primas (UF1178)

Las micelas de caseína se encuentran en la leche rodeadas de una capa de hidratación. La primera etapa de la deshidratación de la caseína se produce bajo la acción de la enzima coagulante, pero hasta que no aparecen los enlaces secundarios entre caseínas no empieza la sinéresis.

Los primeros enlaces que se establecen son de puentes de hidrogeno; estos enlaces son bastante débiles, pero como se producen en gran número confieren al coagulo una cohesión importante. En este momento la sinéresis es muy pequeña. Las reordenaciones moleculares que tienen lugar durante el proceso de coagulación desenmascaran grupos activos entre los cuales se establecen enlaces especialmente a través de cationes divalentes, fundamentalmente de calcio. Estas reordenaciones consisten en la formación de trenzas de partículas de caseína que se unen localmente, entre las que aparecen algunos poros. Este proceso es lento, porque la formación de estos enlaces es geométricamente dificultosa, las partículas de caseína están todas incorporadas a la red y tienen muy poca libertad de movimiento, para que la sinéresis avance algunos enlaces se tienen que deshacer, para poder formar nuevos enlaces<sup>41</sup>.

La retracción del coagulo y la expulsión del suero sucede lentamente, porque éste tiene que fluir a través de la malla de caseínas mineralizadas, que es poco permeable. Finalmente, cuando la sinéresis está suficientemente avanzada, se forman puentes disulfuro, a partir de los aminoácidos azufrados de la paracaseína,

<sup>41</sup> ROMERO DEL CASTILLO SHELLY, Roser; MESTRES LAGARRIGA, Josep. Productos Lácteos: Tecnología, 2004.

entre proteínas. Su naturaleza covalente, de enlaces fuertes determina el final de la sinéresis<sup>42</sup>.

La sinéresis tiene un efecto drástico en la textura del producto, ya que al perderse humedad cambian las propiedades organolépticas del alimento. Por otra parte, las pérdidas de fluido también representan pérdida de peso y por ende pérdidas económicas apreciables, así como pérdida de nutrientes hidrosolubles<sup>43</sup>.

---

<sup>42</sup> ROMERO DEL CASTILLO SHELLY, Roser; MESTRES LAGARRIGA, Josep. Productos Lácteos: Tecnología, 2004.

<sup>43</sup> BARREIRO, José; SANDOVAL, Aleida. Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas, 2006.

## 2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA CREMA DE LECHE EN ALQUERÍA

En Productos Naturales de la Sabana Alquería S.A se producen y comercializan diferentes tipos de productos derivados de la leche que proviene de diferentes partes del país por lo que es vital que la recepción de esta sea controlada mediante la verificación de diversos parámetros que indican si se encuentra en condiciones adecuadas para ser tratada.

Uno de estos productos es la crema de leche que representa un margen de utilidad significativo por ser un producto líder en distribución de la empresa. La crema de leche es una emulsión rica en grasa que se obtiene como resultado del descremado de la leche en una centrífuga que realiza la separación de la materia grasa por su diferencia de densidad, como productos intermedios se obtiene leche descremada y crema cruda.

### 2.1 RECEPCIÓN DE LA LECHE

La leche cruda llega a la empresa en tanques cisternas que son camiones con cierto número de compartimientos con el fin de evitar que la leche sea agitada fuertemente durante el transporte, un factor muy importante para la conservación de la leche durante todo su proceso de transporte es que debe ser refrigerada en todo momento a una temperatura aproximada de 4°C para asegurar que los microorganismos no se multipliquen. Una vez la leche llega la planta la cadena de frío no se debe romper, se debe mantener libre de aire y con el mínimo impacto posible por acciones mecánicas. Para aceptar o no la materia prima que llega, se tienen en cuenta análisis de varias propiedades de la leche (ver **Tabla 6**). Estos parámetros están establecidos mediante el decreto 616 de 2006, Regulación de la leche para consumo.

**Tabla 6.** Parámetros fisicoquímicos para la recepción de la leche.

PRUEBA	VALOR ESTÁNDAR
Acidez	0,13 - 0,16%
Crioscopía	-0.530°C a -0.510°C
Alcohol	-82% a -78%
pH	6,60-6,85
Porcentaje de Grasa	Mínimo 3%
Densidad	1,030-1,033

Fuente: Productos Naturales de la Sabana Alquería S.A

**2.1.1. Prueba organoléptica.** De cada cisterna que ingresa a la empresa se toma una muestra de leche a las que se les valora cualitativamente el sabor, olor y color. Esta prueba se basa en la percepción de los sentidos. La leche se caracteriza por un color blanco amarillento y depende del contenido de materia grasa, caseína y sales minerales. El sabor es dulce por la presencia de lactosa que es el azúcar de la leche. La leche que se desvíe en cuanto al olor y sabor, es rechazada.<sup>44</sup>

**2.1.2. Prueba de limpieza.** Prueba que se realiza en la recepción de la leche para comprobar que las superficies interiores de los tanques en donde es transportada cuenten con las condiciones de higiene adecuadas, cualquier contaminante presente disminuye la calidad de esta.

**2.1.3. Recuento de bacterias.** Para determinar el número de bacterias se utiliza el método Leesment, donde las bacterias son incubadas a 30°C durante un tiempo de 72 horas en una muestra de leche de 0,001 ml con un sustrato nutritivo, posteriormente se hace un recuento de unidades formadoras de colonia<sup>45</sup>.

## **2.2 ALMACENAMIENTO DE LA LECHE CRUDA**

Una vez la leche cruda cumple con las pruebas de calidad de la recepción, se almacena en tanques silo que son tanques de almacenamiento cuya superficie en contacto con el producto es en acero inoxidable, que tienen una capacidad desde 25.000 hasta unos 150.000 y la mantiene refrigerada a 4°C. Cada tanque silo cuenta con un sistema de agitación que aparte de mezclar la leche proveniente de diferentes partes del país evita que haya separación de la materia grasa. Es importante que la agitación sea suave, de lo contrario se incluirá aire en la leche y desestabilizará los glóbulos de grasa, esto vuelve a la leche vulnerable a ser atacada por las enzimas lipásicas.

## **2.3 HIGIENIZACIÓN DE LA LECHE**

La higienización de la leche consiste en una serie de operaciones por las que pasa la leche cruda con el fin de eliminar elementos contaminantes provenientes del ordeño. Estas operaciones son filtración, donde la leche proveniente del tanque de

---

<sup>44</sup> OCHOA M, Isabel; GARCIA G, Ofelia. Derivados lácteos, 1987.

<sup>45</sup> BEJARANO CHAPARRO, Juan Sebastián; TAMAYO MEJIA, Juan David. Evaluación del efecto del tiempo de maduración de la crema de leche para el mejoramiento de la calidad en productos naturales de la Sabana Alquería S.A. sede Enrique Cavellier, 2013.

almacenamiento a una temperatura de 4°C circula por dos filtros en paralelo los cuales retienen el material contaminante, se requiere de un sistema de doble filtro por las grandes cantidades de volumen manejadas; el contenido que por filtración no pueda ser removido se elimina mediante la clarificación, la cual consiste en el paso de la leche por una centrifuga que oscila a una velocidad entre 3000 y 4000 rpm retirando el material contaminante de la leche hasta de 4 micras de diámetro.

## **2.4 DESCREMADO**

Para realizar el descremado de la leche cruda, ésta debe estar a un temperatura entre 30 a 35°C, el descremado se realiza con el objetivo de separar la grasa de la leche cruda mediante el uso de una centrifuga cuyo caudal de operación es de 20 000L/h en promedio. Para los tres tipos de crema de leche se utiliza la misma centrífuga separadora, que hace girar la leche dentro de un tambor de platos cónicos haciendo que los glóbulos grasas, cuya densidad es menor que la leche, se queden girando en la parte interior del tambor. Se tiene dos salidas en el equipo, una por donde sale la leche desnatada y otra para la crema. Estos dispositivos vienen acondicionados con un sistema de tuberías y válvulas que proporcionan los ajustes de presión necesarios para obtener la crema de leche según el porcentaje de grasa requerido: light (19-21%), semi-entera (30-35%) y entera (36-40%)<sup>46</sup>.

## **2.5 TRATAMIENTO TÉRMICO**

Durante el proceso de producción de crema de leche en PRODUCTOS NATURALES DE LA SABANA ALQUERIA S.A se tienen en cuenta procesos de transferencia de calor que son importantes para toda industria láctea, en la empresa los sistemas de calentamiento y enfriamiento son regenerativos. Por ejemplo, el calor de la leche pasteurizada se utiliza para calentar la leche fría, estos se llevan a cabo en un intercambiador de calor y tiene la ventaja de ahorrar energía de calentamiento y refrigeración.

Cabe resaltar que en Alquería se tienen en cuenta dos tratamientos térmicos para el proceso de producción de la crema, que son la pasteurización y el proceso UHT. Ambos cumplen con la función de destruir los microorganismos patógenos y los sistemas enzimáticos que pueden afectar la estabilidad y calidad del producto. La pasteurización es el primer tratamiento que recibe la crema y ocurre posterior a la adición de estabilizantes; con esto aparte de reducir la carga bacteriana, va permitir la dilución de los estabilizantes pues ingredientes que se usan como aditivos existen

---

<sup>46</sup> GOMEZ DE ILLERA, Margarita. Tecnología de lácteos, 2005.

gelatinas que tienen una temperatura de solubilidad entre 75 y 80°C. Posterior a esto ocurre la ultra alta pasteurización que aparte de disminuir las posibles reinfecciones del producto, va a conseguir extender la vida útil pues se lleva a cabo en un sistema cerrado y envasado aséptico que impide que el producto se contamine con microorganismos presentes en el ambiente y que asegura hasta seis meses de más de vida útil.

La pasteurización se realiza a una temperatura que oscila entre los 80 a los 90°C durante un tiempo aproximado de 15 a 20 segundos, la temperatura de pasteurización debe ser menor a la temperatura de ebullición del agua, para alcanzar la temperatura de pasteurización se realiza un precalentamiento el cual usa como fluido de servicio crema de leche ya pasteurizada. La ultra alta pasteurización tiene el mismo principio de la pasteurización, la diferencia radica en que en este tratamiento la temperatura de operación es más alta y el tiempo de duración de la misma es más corto, manejando temperaturas de 135 a 140°C durante 2 a 4 segundos, eliminando de igual manera los microorganismos manteniendo intactas las propiedades organolépticas de la crema de leche. Luego de realizar la ultra alta pasteurización se debe realizar el envasado de la crema evitando la contaminación del producto por microorganismos.

## **2.6 ALMACENAMIENTO Y ENVASADO**

Luego de realizar la ultra alta pasteurización de la crema, se procede al envasado en la presentación deseada ya sea 125, 200, 225 o 900 gramos, al manejar 10.000 litros por lote de producción aproximadamente, no todo el contenido es enviado a las envasadoras, teniendo que almacenar la crema en un tanque aséptico (ver **Figura 8**) mientras se da paso a las envasadoras. Dicho tanque cuenta con un sistema de agitación magnética a una velocidad promedio de 55 rpm, una presurización que oscila entre 1,5 y 1,8 bar a temperatura ambiente, capacidad de 20.000 litros trabajando hasta el 60% de ésta capacidad, con un diámetro de 3 metros y una altura de 5 metros. Por otro lado se debe garantizar que las propiedades de la crema se encuentren en los valores especificados por la empresa a lo largo del proceso productivo, dichos análisis se realizan en etapas intermedias estando la crema almacenada en los silos 11, 22 y 25, de igual manera para el producto terminado (ver **Tabla 7**).

**Figura 9.** Tanque aséptico.



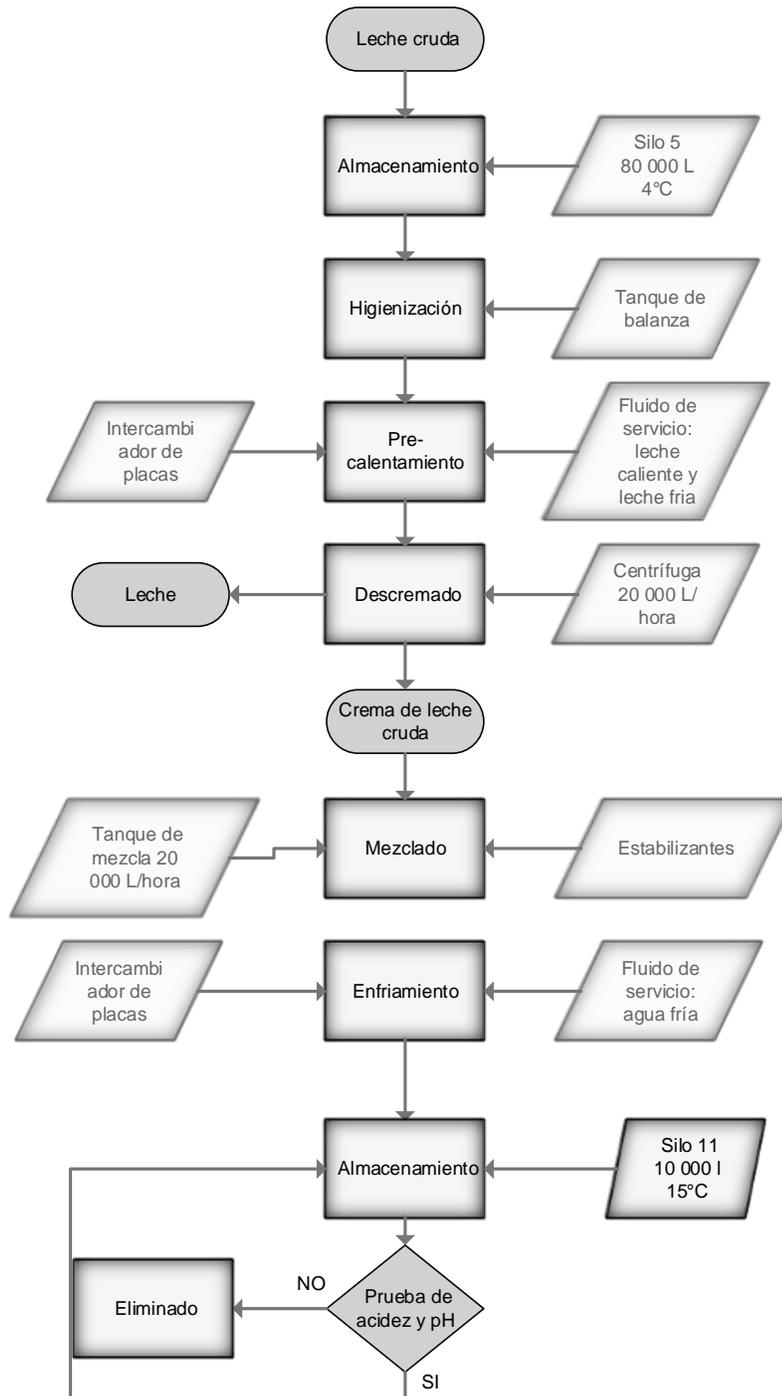
Fuente: Manual de la Industria láctea

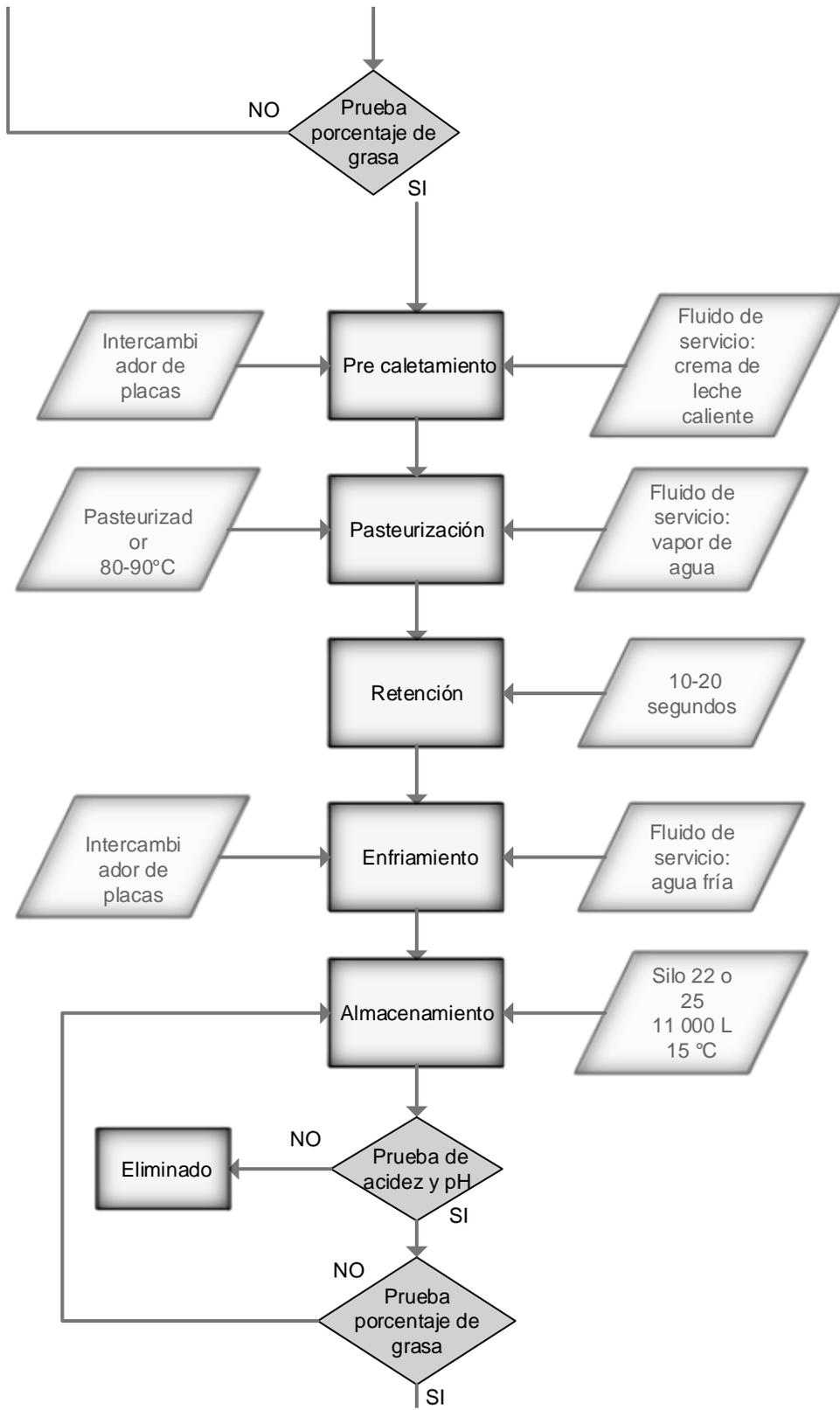
**Tabla 7.** Especificaciones crema de leche

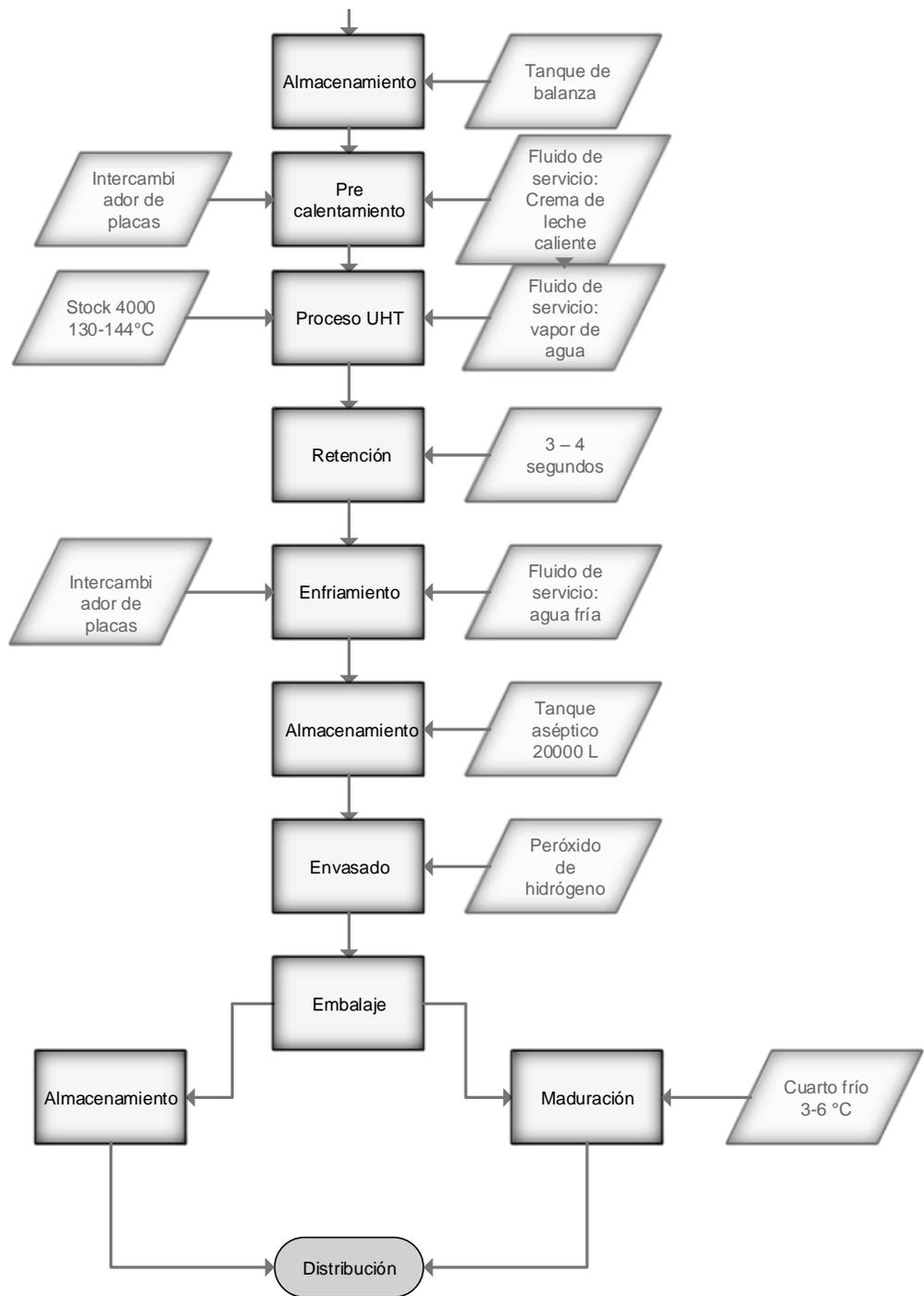
Producto	Acidez % m/v		pH a 20°C		Densidad 15°C (g/ml)		Porcentaje de grasa (m/v)		Viscosidad (cP)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Crema semientera (silo)	0,08	0,12	6,6	6,85	0,85	1,1	32	34	1000	4000
Crema semientera (producto terminado)	0,08	0,12	6,4	6,7	0,85	1,1	30	34	1000	4000

Fuente: Productos Naturales de la Sabana Alquería S.A

**Diagrama 1** Proceso de producción de crema de leche en Alquería.







## 2.7 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA CREMA DE LECHE EN ALQUERÍA

El diagnóstico consiste en revisar el proceso de producción en su totalidad, desde la recepción de la materia prima hasta la etapa de envasado de la crema de leche. De acuerdo a la materia prima se verifica que la leche cruda usada en el proceso productivo cumpla con las propiedades correspondientes que aseguren la calidad del producto, teniendo en consideración los análisis de acidez, pH, densidad, porcentaje de grasa, índice crioscópico y organoléptica; los cuales están dentro de los parámetros establecidos por la empresa (ver **Tabla 4**). En la **Tabla 8** se evidencia el resultado promedio para cada prueba encontrándolos entre los rangos de liberación, descartando la materia prima (leche cruda) como un aspecto a tener en cuenta en la presencia de sinéresis en la crema de leche.

**Tabla 8.** Valores promedio de las pruebas de recepción de la leche cruda.

<b>Propiedad</b>	<b>Valor promedio</b>
Acidez	0,132
Índice crioscópico(°C)	-0,522
pH	6,71
Grasa	3,419
Densidad	1,032

Se realizó un seguimiento a las propiedades físicas de la crema de leche durante el proceso de producción en los silos 11, 22 y 25 (ver **Anexo A**) dichas pruebas son similares a las que se le realizan a la leche cruda, en este caso se tiene en cuenta las siguientes propiedades:

1. pH: dentro de la formulación de los estabilizantes usados para la producción de crema de leche está incluido un aditivo el cual forma una red tridimensional dentro de la crema de leche (gel) encargado de estabilizar y gelificar el producto, dándole así textura a la crema. Este aditivo es bastante estable en los pH neutros o alcalinos, pero a pH bajos se afecta la estabilidad, especialmente a altas temperaturas. La disminución del pH causa la hidrólisis del polímero del aditivo, lo cual resulta en la disminución de la viscosidad y de la fuerza de gelificación. Sin embargo, una vez formado el gel, aun en los pH bajos (3,5 a 4,0) no hay más ocurrencia de hidrólisis y el gel permanece estable.

2. Acidez: El parámetro acidez también se tiene en cuenta para el diagnóstico pues esta propiedad junto con el pH determinan si el producto está acidificado o no. Teniendo en cuenta que la acción de bacterias fermentadoras de la lactosa generan la producción de ácido láctico (acidez desarrollada), la cual no se puede medir de una manera rápida y precisa. Puede ocurrir que diferentes muestras de crema leche con el mismo pH tengan la misma estabilidad frente a los diferentes tratamientos industriales dentro del mismo estado de calidad pero con acideces diferentes y viceversa, misma acidez pero con diferente pH. Esto ocurre porque la valoración de la acidez no solo indica la acidez desarrollada por el ácido láctico y otros ácidos resultado de la degradación microbiana, sino que también interviene la acidez debida a componentes de la leche como lo son la caseína, ácidos orgánicos, sustancias minerales y reacciones secundarias de los fosfatos pertenecientes a las submicela de caseína, lo puede afectar la membrana hidrofílica de la micela y en general su estructura repercutiendo en la estabilidad de la crema.
3. Porcentaje de grasa: es necesario revisar el comportamiento de esta propiedad puesto que al ocurrir una separación de los componentes de la crema habrá una tendencia de mayor contenido de grasa hacia la superficie del producto.

Las gráficas del **Anexo A** corresponden a las pruebas mencionadas durante el mes de julio a una serie de lotes de crema de leche durante el proceso de producción, los análisis para estas pruebas se realizan posterior a la adición de estabilizantes y del resultado de los mismos depende la continuidad de la producción de la crema. Para cada tipo de prueba hay tres gráficas de control con los rangos de aceptación para cada una con el propósito de cerciorar la calidad del producto, dependiendo el silo en donde ha sido almacenada la crema ya sea el silo 11, 22 o 25. Como se puede observar, existen diferentes puntos aunque muy mínimos, los cuales no están dentro de los límites, esto es coherente con los valores promedios para cada prueba (ver **Tabla 9**) en donde se observa que los resultados se encuentran entre los valores permitidos, lo cual indica que durante esta etapa intermedia del proceso no hay evidencia de la presencia de sinéresis en la crema de leche, puesto que el número de análisis que no están dentro de los valores de aceptación no son representativos.

**Tabla 9.** Valor promedio para las pruebas físicas de la crema de leche en silo.

	<b>Silo 11</b>	<b>Silo 22</b>	<b>Silo 25</b>
<b>Acidez</b>	0,098	0,093	0,094
<b>pH</b>	6,664	6,66	6,696
<b>%grasa</b>	34%	33%	33%

Por último, se realizó el mismo procedimiento mencionado anteriormente pero en producto terminado centrándose en ésta instancia en la etapa del proceso UHT de la crema y el envasado (ver **Anexo A**); las gráficas en dicho anexo consignan igualmente el comportamiento de las propiedades de la crema de leche analizadas, donde los valores para las diferentes propiedades cumplen casi en su totalidad las especificaciones a excepción del porcentaje de grasa, puesto que en varios lotes de producción los resultados no se encuentran dentro de los valores establecidos por la empresa ya sea por alto o bajo contenido de grasa en la crema. Esto se evidencia en la **Tabla 10**, que muestra que el valor promedio del porcentaje de grasa en este punto está en el límite permitido y presenta una disminución de esta propiedad (30%) comparada con los resultados que se obtuvieron en el estudio de los silos: 34%, 33% y 33%. Por lo tanto, hay producto que evidentemente presenta sinéresis debido a los desajustes de dicha propiedad, constituyéndose el porcentaje de grasa como la variable afectada en mayor medida por el fenómeno de sinéresis.

El producto terminado defectuoso no se libera y vuelve a reprocesarse, dando como indicio al problema posibles fallas durante la etapa comprendida entre el proceso UHT y el envasado de la crema, que son las posteriores al almacenamiento de la crema en los silos 11, 22 y 25.

**Tabla 10.** Valores promedios para las pruebas físicas de la crema de leche en producto terminado.

	<b>Valor promedio</b>
--	-----------------------

<b>Acidez</b>	0,1
<b>pH</b>	6,56
<b>Densidad</b>	0,999
<b>%Grasa</b>	30%

Por otro lado, se hace un seguimiento a la viscosidad que es una propiedad la cual guarda relación con el porcentaje de grasa puesto que al haber mayor contenido de lípidos en el producto, mayor será la viscosidad del mismo; se tienen en cuenta para este seguimiento la etapa intermedia y final del proceso, con el fin de ver el comportamiento de la propiedad a lo largo de la producción, comparando los resultados con los valores fijados por la empresa. En la **Tabla 11** se presentan los valores promedios para la viscosidad en dichos puntos, estos se encuentran entre los rangos permitidos. También se evidencia un aumento de la propiedad cuando el producto llega al punto final del proceso, debido a la adición de estabilizantes al producto. Para los valores en producto terminado se puede observar que los datos tienen una tendencia, obteniendo una desviación menor en relación a los valores de viscosidad en los silos 11, 22 y 25.

**Tabla 11.** Valores promedios de la viscosidad en silo y producto terminado.

	<b>Valor promedio</b>
<b>Silos</b>	1184,21
<b>Producto terminado</b>	1249,41

Posteriormente se hace un seguimiento en la etapa comprendida entre tratamiento UHT y envasado a 22 lotes de producción durante 13 días, revisando las condiciones de operación tales como las temperaturas del tanque que recibe la crema para la esterilización (tanque balanza), temperatura del proceso de esterilización y la de envasado las cuales oscilan en un mismo rango ya que como se ha venido mencionando el tratamiento térmico provoca cambios en los componentes de la leche y serán mayores en cuanto lo sea la temperatura aplicada, por lo que se pretender cerciorar que las diferentes temperaturas manejadas

durante el proceso sean las establecidas para cada parte del mismo, la presión del tubo de retención también se tiene en cuenta pues esta condición de operación es necesaria para prevenir la evaporación súbita del producto ante la temperatura del tratamiento UHT y la capacidad del tanque aséptico en donde se almacena la crema en el momento del envasado, adicionalmente ver si hay presencia de sinéresis o no, teniendo en cuenta el volumen de producto reprocesado si llega a presentarse el fenómeno, consignándose los datos en la **Tabla 12**. El valor de los lotes analizados son una muestra significativa de acuerdo a los valores fijados por el Military Standard donde para un nivel especial S3 y un tamaño de lote comprendido entre 3201 y 10000 la letra de código del tamaño muestra F que corresponde a 20 lotes como tamaño muestral.

**Tabla 12.** Seguimiento a lotes de producción de crema de leche.

Fecha	Turno	Silo	Temperatura			Presión tubo retención	Capacidad tanque(L)	Producto reprocesado (L)
			Tanque Balanza(°C)	Esterilizador(°C)	Envasado(°C)			
03/12/2015	Mañana	22	18	140,1	30,5	3,3	2270	
03/12/2015	Tarde	22	16	140,1	32	3,3	2223	
04/12/2015	Mañana	22	16,5	140,8	31,5	3,2	3880	800
04/12/2015	Tarde	22	16,8	140,8	32,7	3,3	2033	
05/12/2015	Tarde	25	16,4	141	31,5	3,4	1481	
07/12/2015	Tarde	22	16,8	141,5	31,7	3,2	3321	600
08/12/2015	Mañana	22	16,5	140,8	31,7	3,3	2700	
08/12/2015	Noche	25	16,8	141,2	32,2	3,4	4096	
09/12/2015	Tarde	25	16,4	141	32,2	3,3	2638	
10/12/2015	Mañana		16,7	140,8	30,7	3,4	2200	
11/12/2015			16,5	140,8	31,2	3,3		

**Tabla 12.** (Continuación)

Fecha	Turno	Silo	Temperatura			Presión tubo retención	Capacidad tanque(L)	Producto reprocesado (L)
			Tanque Balanza(°C)	Esterilizador(°C)	Envasado(°C)			
14/12/2015	Mañana	22	16,8	141,2	30,2	3,4	4914	700
14/12/2015	Tarde	22	16,5	141	32,7	3,4	3175	600
15/12/2015	Mañana	22	16,3	140,5	30,7	3,3	3403	300
15/12/2015	Tarde	25	16,4	141	31,5	3,3	2750	
15/12/2015	Noche	25	16,5	141,2	31,2	3,3	4406	No
16/12/2015	Tarde	25	16,5	141,2	31,2	3,4	3947	800
16/12/2015	Noche	22	16,5	141	31,5	3,4	3742	Sí
17/12/2015	Mañana	22	16,8	140,8	31,5	3,4	2406	400
17/12/2015	Tarde	22	16,5	140,3	31,7	3,4	3074	Sí
18/12/2015	Mañana	25	16,5	140,5	32,5	3,3	2692	No
18/12/2015	Noche	25	16,4	141	30,7	3,4	3643	No

Del 100 por ciento de los lotes incluidos dentro del seguimiento durante trece días, de los cuales se presenta la información relacionada a los aspectos nombrados anteriormente el 75% presentó fallas respecto al porcentaje de grasa del producto, originándose varias hipótesis durante este tiempo. En primer lugar se observa que de los 9 lotes con presencia de sinéresis, el 55,55% presentan un volumen en el tanque aséptico superior a los 3500 litros de crema, pudiendo hacerse más propensa la sinéresis a mayor volumen contenido en el tanque aséptico durante la etapa de envasado. Adicional a lo anterior, las paradas en el envasado por diversas fallas en los equipos (envasadoras) también generarían efectos adversos en la estabilidad del producto.

### 3. EXPERIMENTACIÓN

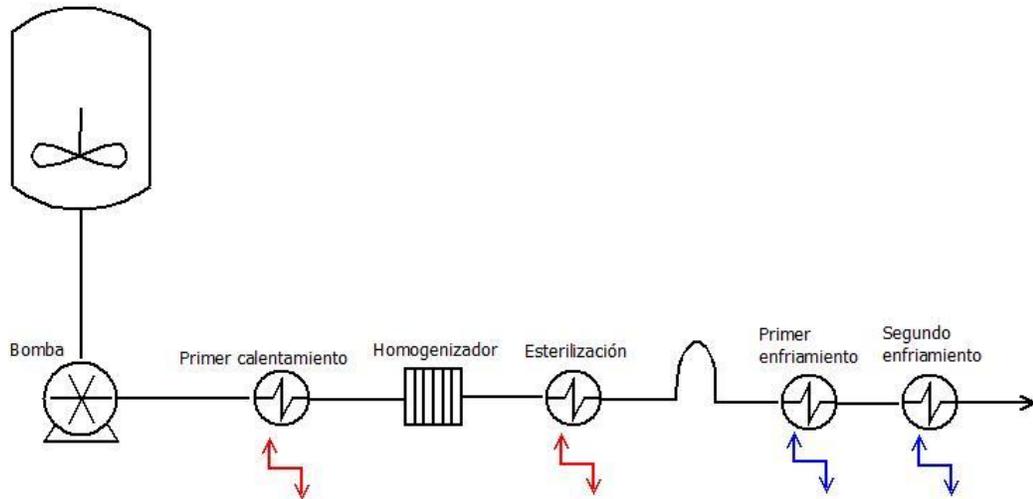
En relación a los resultados obtenidos luego de hacer el diagnóstico al proceso de producción de la crema de leche referente al fenómeno de sinéresis, se tienen en cuenta tres variables, las cuales son: relación altura diámetro en el tanque aséptico para establecer el volumen de crema almacenada, formulación de estabilizantes e implementación o no de la unidad de homogenización dentro del proceso productivo, teniendo en cuenta que los valores de variables como la temperatura del tanque balanza (tanque donde llega la crema al inicio de la etapa de esterilización), temperatura de esterilización se mantienen constantes.

#### 3.1 ENSAYOS PLANTA PILOTO

Se aclara que en los ensayos realizados en planta piloto se hace desde el descremado en adelante, esta se encuentra ubicada dentro de las instalaciones de PRODUCTOS NATURALES DE LA SABANA ALQUERIA S.A de la sede en Cajicá, a unos 150 metros aproximadamente de la planta industrial. En primer lugar se hace un calentamiento de la crema a una temperatura promedio de 60°C, pasando luego al homogenizador que pasa la crema a 30 L/h manejando 2 etapas, la primera a 40 bar y la segunda a 30 bar; cabe aclarar que el valor de estas presiones fueron fijados bajo la dirección del departamento de investigación y desarrollo de la empresa que se basan en los procesos de producción que se llevan a cabo en otras sedes de Alquería S.A distribuidas en el país, lo anterior si se considera esta unidad para el ensayo realizado, en seguida pasa a la fase de esterilización con una retención de 4 segundos a una temperatura que oscila entre los 138°C a 142°C, posterior a la esterilización se efectúa un enfriamiento bajando la temperatura de la crema a 75°C aproximadamente y finalmente un segundo enfriamiento dejando el producto a 25°C (ver **Diagrama 2 y Tablas 13 -14**).

**Diagrama 2.** Diagrama del proceso de producción de crema de leche en planta piloto.

Tanque de balanza



**Cuadro 1.** Variables planta piloto

Variable	Equipo Planta Piloto
Etapas de precalentamiento	1
Temperatura de precalentamiento	60°C
Pasos de homogenización	2
Presión de homogenización primer paso	40 bar
Presión de homogenización segundo paso	30 bar
Capacidad del homogenizador	30 l/h
Temperatura de esterilización	138°C – 142°C
Tiempo de retención en la esterilización	4 segundos
Temperatura primer enfriamiento	75°C
Temperatura segundo enfriamiento	25°C

**Cuadro 2.** Descripción equipos planta piloto

<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>
Tanque Balanza	Tiene una capacidad de 25 litros, con un agitador con velocidad máxima de 500 rpm, que se trabaja al 5% para la crema leche, el agitador es usado para hacer una mezcla uniforme entre los estabilizantes y la crema de leche.
Bomba	El tipo de bomba es de desplazamiento positivo, desplazando la crema de leche, mediante la creación de un desequilibrio de presiones dentro de un entorno cerrado. Este desequilibrio hace que el producto se mueva de un lugar a otro en un intento de equilibrar la presión.
Intercambiador	Intercambiador de calor de tipo tubular el cual se encarga de realizar el precalentamiento, esterilización y enfriamiento de la crema de leche.
Homogenizador	Es una bomba de alta presión con un aditamento de contra presión (válvula de homogenización), la cual genera un efecto de homogenización de las partículas del producto por efecto mecánico.

La experimentación consiste en simular el proceso de producción industrial en la planta piloto de la empresa descrito anteriormente, cambiando las variables en sus respectivos niveles, constituyéndose de la siguiente manera:

Para la relación altura diámetro, se realiza una equivalencia (ecuación 1) entre las dimensiones del tanque aséptico y un elemento de laboratorio que se adapte lo más cercano posible a las características propias del tanque, para este caso se usa un Beaker, dado que la planta piloto no cuenta con un tanque con dichas especificaciones. Se decide tener en cuenta esta variable dado que se intuye que el incremento del nivel de crema almacenado en el tanque potencializa la sinéresis, según los resultados consignados en la **Tabla 12**, donde mayores volúmenes de producto reprocesado por sinéresis corresponden a un valor superior a los 3.500 L de capacidad ocupada del tanque aséptico.

Por otro lado el sistema de presurización con el cual cuenta el tanque aséptico en planta industrial no es necesario implementarlo en la experimentación en planta

piloto, puesto que dicha presión de vacío es utilizada para enviar el producto a las envasadoras y así evitar que la estabilidad de la crema se afecte en mayor grado por el uso de bombas y garantizar la condición aséptica del proceso, y el envasado no es un objeto de estudio en el proyecto.

**Ecuación 1.** Relación diámetro altura

$$\frac{D_{tanque}}{h_{crema tanque}} = \frac{D_{beaker}}{h_{crema beaker}} \quad (1)$$

Se considera la geometría del tanque aséptico (ver **Tabla 16**) y del beaker como un cilindro por lo que el volumen de crema a almacenar en cada uno de ellos se determina por la ecuación 2 y 3, respectivamente.

$$V_{crema tanque} = \pi * r_{tanque aséptico}^2 * h_{crema tanque aséptico} \quad (2)$$

$$V_{beaker} = \pi * r_{beaker}^2 * h_{crema beaker} \quad (3)$$

$$\frac{D_{tanque}}{\frac{V_{crema tanque}}{\pi r_{tanque}^2}} = \frac{D_{beaker}}{\frac{V_{crema beaker}}{\pi r_{beaker}^2}} \quad (4)$$

$$Volumen crema beaker = \frac{r_{beaker}^3 * V_{crema tanque}}{r_{tanque}^3} \quad (5)$$

Muestra de cálculo para Beaker de 600 ml

$$Volumen crema beaker = \frac{0,0475^3 * 3500}{1,5^3} = 0,11114 \text{ l } \text{ ó } 111,14 \text{ ml}$$

Mediante el desarrollo de las ecuaciones anteriores, se obtienen los niveles de volumen de crema de leche para los beaker de 600 y 1000 ml (ver **Tablas 13 y 14**)

**Tabla 13.** Volúmenes de ensayo Beaker 600 ml.

Nivel	Volumen en tanque aséptico (L)	Volumen beaker (ml)
<b>Bajo (I)</b>	3500	111,14
<b>Medio (II)</b>	4500	142,89
<b>Alto (III)</b>	5500	174,65

**Tabla 14.** Volúmenes de ensayo Beaker 1000 ml.

<b>Nivel</b>	<b>Volumen en tanque aséptico (L)</b>	<b>Volumen beaker de 1000 ml (ml)</b>
<b>Bajo (I)</b>	3500	172, 53
<b>Medio (II)</b>	4500	221, 83
<b>Alto (III)</b>	5500	271, 12

**Tabla 15.** Especificaciones tanque aséptico planta industrial

<b>Diámetro (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Presión de vacío (bar)</b>	<b>Agitación</b>
3	5	1,5-1,8	Magnética (55 rpm) durante 3 minutos cada 2 minutos.

La agitación manejada en la fase experimental es de tipo magnética con una velocidad de 50 rpm durante un minuto cada seis minutos en un lapso de una hora para cada volumen (bajo, medio, alta), agitación que para el tanque esta especificada en la **Tabla 15**, durante un tiempo indeterminado el cual depende del estado del proceso en planta industrial.

Un cambio en la formulación puede incidir directamente en la estabilidad de la crema de leche durante el proceso productivo, se pretende realizar pruebas con tres fórmulas diferentes, una de ellas con la que se está produciendo la crema para su posterior distribución actualmente, las dos restantes son posibles alternativas trabajadas en el departamento de investigación y desarrollo (i+d), haciendo énfasis en que las tres fórmulas se componen de los mismos aditivos a excepción del gelificante, que dependiendo del cambio de éste varían diversos aspectos como: solubilidad, capacidad de formación de gel (gelificación), viscosidad, estabilidad en relación al pH, reactividad con proteínas y tixotropía; los cuales le atribuyen al aditivo ciertas características que favorecen la estabilidad de la emulsión (crema de leche).

En la experimentación se realizan pruebas con y sin homogenización, al momento de hacer la homogenización se manejan presiones de 40 y 30 bares para la primera y segunda etapa del homogenizador respectivamente, pudiendo establecer estos valores como tentativa para la homogenización en planta industrial si se decide llevarlo a tal escala, teniendo en cuenta que la homogenización según la literatura, al reducir el tamaño del glóbulo de grasa que es el fundamento de ésta operación va a ser menor la velocidad de ascenso de glóbulo graso a la superficie evitando la

separación y la agrupación de la materia grasa, además de proporcionar mejores características en cuanto a sabor, color (más blanco y atractivo) y viscosidad. Se trabaja una homogenización con doble etapa debido al porcentaje de grasa del producto puesto que es más aconsejable para derivados lácteos con alto contenido o porcentaje de grasa.

Se realizan 18 ensayos para poder hacer la variabilidad de las propiedades anteriormente nombradas, cada ensayo se ejecuta tres veces para obtener resultados estadísticamente representativos. Posterior a la realización de cada ensayo y la agitación de la crema durante una hora con el fin de simular las condiciones de permanencia de la crema dentro del tanque aséptico, se hace el protocolo de muestreo de la siguiente manera (ver **Cuadro 3**):

**Cuadro 3.** Protocolo de muestreo para cada ensayo

Descripción	Número de muestras
Tres niveles de volumen en estudio, agitados durante una hora (simulación tanque aséptico).	1 (una por cada nivel)
Producto sin agitar a temperatura ambiente	1
Tres niveles de estudio luego de 18 horas posteriores al ensayo a temperatura ambiente	1 (una por cada nivel)
Producto sin agitar a temperatura ambiente luego de 18 horas posteriores al ensayo	1
Producto sin agitar refrigerada entre 3°C y 4°C luego de 18 horas posteriores al ensayo	1

Luego de realizar el muestreo se hace análisis de grasa por Gerber (ver **Anexo B**), dicho análisis representa la presencia o no del fenómeno de sinéresis en el producto, cabe resaltar que teniendo el producto descremado antes de adicionar los estabilizantes y proceder con las etapas posteriores al proceso (esterilización y homogenización si es el caso) se hace el mismo análisis para saber el valor inicial de porcentaje de grasa y poder compararlo con los resultados luego del ensayo. Por otro lado, luego de 24 horas de cada ensayo se hace un análisis de viscosidad (ver **Anexo C**), garantizando que la crema esté en los parámetros establecidos cuyos valores deben estar dentro del rango de 1000 a 4000 cP con un porcentaje de torque superior al 15% e inferior al 90%.

### 3.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las **Tablas 16** y **17** se presentan los resultados para los 18 ensayos realizados en planta piloto con las variaciones nombradas anteriormente, así como las imágenes de la experimentación (ver **Anexo D**). Según los resultados obtenidos se puede evidenciar variación en el porcentaje de grasa y apariencia de la crema de leche.

**Tabla 16.** Resultados experimentación sin homogenización.

	SIN HOMOGENIZACION					
	Fórmula 1		Fórmula 2		Fórmula 3	
	%grasa intermedia	%grasa final	%grasa intermedia	%grasa final	%grasa intermedia	%grasa final
<b>Volumen 1</b>	31%	28%	28%	28%	33%	30%
	30%	27%	31%	30%	33%	28%
	32%	28%	29%	29%	30%	25%
<b>Volumen 2</b>	31%	28%	27%	26%	31%	30%
	30%	27%	30%	29%	33%	30%
	31%	29%	29%	29%	31%	28%
<b>Volumen 3</b>	31%	27%	28%	27%	32%	30%
	31%	28%	30%	29%	32%	27%
	31%	28%	30%	29%	30%	27%
<b>Sin agitación</b>	31%	26%	31%	31%	32%	29%
	31%	25%	31%	30%	32%	29%
	31%	26%	31%	30%	32%	28%
<b>Refrigerada (4°C)</b>	30%		31%		32%	
	30%		29%		32%	
	30%		31%		30%	
<b>%grasa inicial</b>	33%		33%		33%	
	32%		31%		33%	
	33%		32%		32%	

**Tabla 17.** Resultados experimentación con homogenización

	<b>CON HOMOGENIZACION</b>					
	<b>Fórmula 1</b>		<b>Fórmula 2</b>		<b>Fórmula 3</b>	
	<b>%grasa intermedia</b>	<b>%grasa final</b>	<b>%grasa intermedia</b>	<b>%grasa final</b>	<b>%grasa intermedia</b>	<b>%grasa final</b>
<b>Volumen 1</b>	31%	30%	31%	31%	30%	30%
	33%	30%	30%	30%	30%	30%
	31%	29%	31%	31%	32%	31%
<b>Volumen 2</b>	32%	30%	31%	31%	31%	31%
	31%	29%	30%	30%	30%	30%
	31%	28%	31%	30%	32%	31%
<b>Volumen 3</b>	32%	29%	32%	31%	32%	30%
	33%	29%	30%	30%	31%	31%
	31%	29%	32%	31%	32%	31%
<b>Sin agitación</b>	32%	30%	32%	32%	33%	31%
	32%	30%	31%	31%	32%	31%
	31%	29%	32%	31%	31%	31%
<b>Refrigerada (4°C)</b>	31%		31%		31%	
	31%		31%		31%	
	30%		31%		31%	
<b>%grasa inicial</b>	33%		33%		33%	
	33%		32%		32%	
	31%		33%		32%	

Se realiza un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial para determinar si los factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de grasa (ver **Tabla 18**).

**Tabla 18.** Resultados del análisis de varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Formula	7,26	2	3,63	3,32	0,047
B:Volumen	0,15	2	0,074	0,07	0,93
C:Homogenización	16,67	1	16,67	15,25	0,0004
INTERACCIONES					
AB	2,19	4	0,55	0,50	0,74
AC	1,78	2	0,88	0,81	0,45
BC	0,44	2	0,22	0,20	0,82
ABC	1,44	4	0,36	0,33	0,86
RESIDUOS	39,33	36	1,092		
TOTAL (CORREGIDO)	69,26	53			

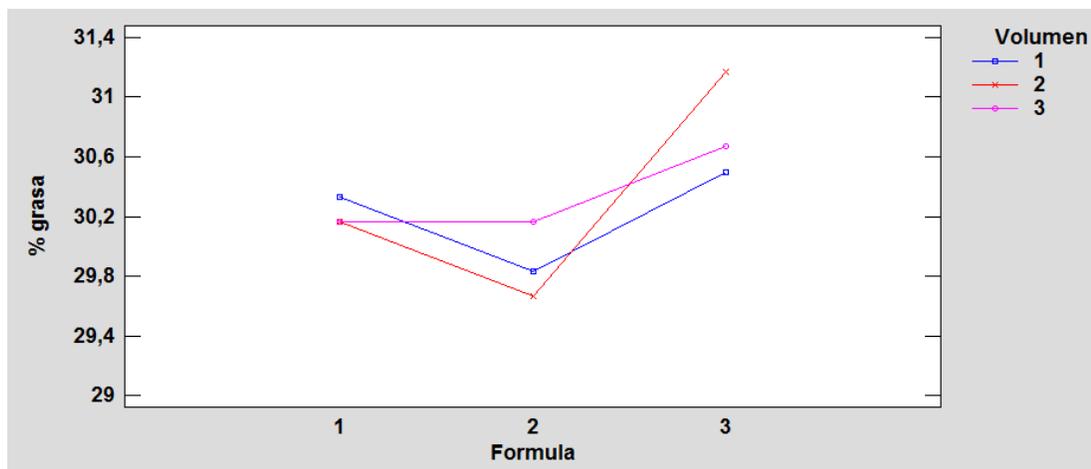
En la tabla se observan los valores P que prueban la significancia estadística de cada uno de los factores sobre el porcentaje de grasa con un 95% de nivel de confianza. Se descarta la hipótesis de que el nivel de crema de leche almacenada en el tanque potencialice la generación de sinéresis en el producto, esto se evidencia con el valor de P obtenido para el factor B: volumen, el cual es mayor a  $\alpha=0,05$ . Por el contrario los factores A y C que son fórmula y homogenización, respectivamente, presentan valores inferiores a  $\alpha=0,05$ , considerándose como variables que tienen un efecto en el porcentaje de grasa.

Fórmula: un cambio en los estabilizantes adicionados a la crema de leche influye directamente en los resultados del porcentaje de grasa, producto de una mejor reactividad con las proteínas de la crema al haber una fuerte interacción electrostática entre los grupos que componen el aditivo con carga negativa y la micela de la caseína de la crema de leche la cual posee una carga positiva, así como una mejor solubilidad en el producto a diferentes temperaturas teniendo en cuenta que para algunos estabilizantes una exposición a altas temperaturas repercute en la alteración de la estabilidad del aditivo por acción de un cambio en el pH, implicando de igual manera en un descenso de la viscosidad, lo dicho anteriormente para el caso del gelificante que es el único aditivo que se cambia para cada fórmula como se especificó anteriormente. Finalmente el valor de P para este factor es inferior al nivel de significancia con un valor de 0,047, con lo cual se puede afirmar que el cambio en la formulación incide en los resultados del porcentaje de grasa para el producto.

Volumen: de acuerdo al valor de P resultado del análisis de varianza equivalente a 0,93 como se observa en la **Tabla 18** es un valor mayor al nivel de significancia, lo cual indica que éste factor y su variabilidad durante la experimentación no representó cambios en la variable dependiente, es decir que la cantidad de crema de leche que pueda ser almacenada en el tanque aséptico es independiente de los cambios en la estabilidad de la crema (sinéresis) durante el tiempo que se encuentra almacenada en dicho tanque (ver **Grafica 2**), aclarando que es obvio esperar un gran volumen de producto con sinéresis si se almacena en el tanque aséptico un volumen proporcional a éste.

Homogenización: se obtuvo un valor de P de 0,0004 siendo el factor que más incide en la variable de interés puesto que en comparación al valor de P para el factor fórmula es mucho menor, esto es un resultado coherente con lo esperado ya que el proceso de homogenización varía el tamaño de la gota de leche cuando pasan por la válvula de homogenización que rompe las gotas de grasa llevándolas a que todas tengan un diámetro similar, esto mejora considerablemente el aspecto y estabilidad de la crema al mantener la grasa dispersa de una forma uniforme en el líquido y a aumentar el número de glóbulos de grasa que permiten la dispersión y reflexión de la luz mejorando su apariencia física.

**Grafica 2.** Gráfico de interacciones entre los factores fórmula y nivel de volumen.



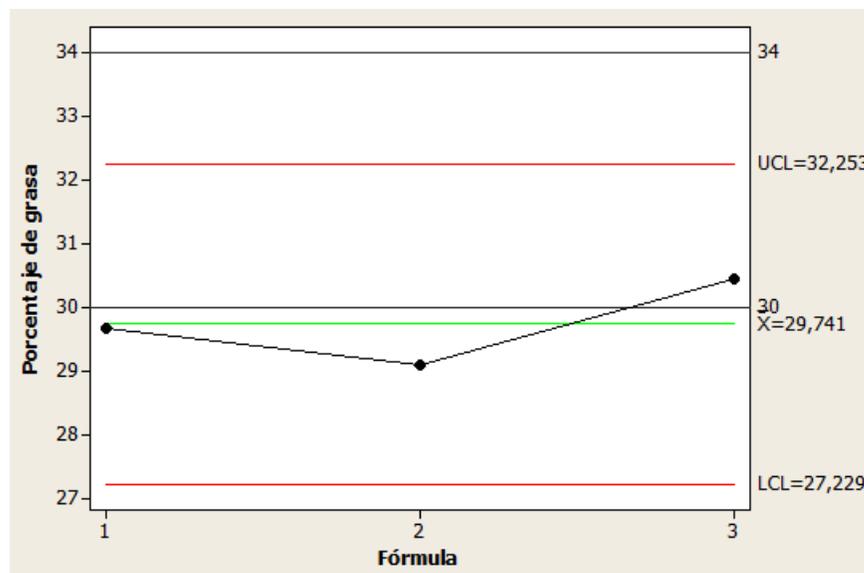
Según lo dicho anteriormente es importante analizar la interacción entre los factores A y C que son los que afectan el comportamiento de la variable dependiente, para establecer el mejor resultado del porcentaje de grasa del producto (ver **Tabla 19**). A partir de los resultados consignados es válido afirmar que existe un mejor comportamiento de la media para el porcentaje de grasa al incluir la homogenización en el proceso usando la fórmula 3 para los estabilizantes de la crema de leche, dado

que los valores oscilan en los rangos de aceptación para la empresa, situación que no se presenta en los resultados de los ensayos sin homogenización (ver **Grafica 3 y 4**). Esto se debe a que gracias a la homogenización que rompe el glóbulo de grasa haciendo que haya mayor superficie expuesta de la grasa con el medio acuoso mejorando las interacciones con los estabilizantes que le van a proveer a la emulsión estabilidad..

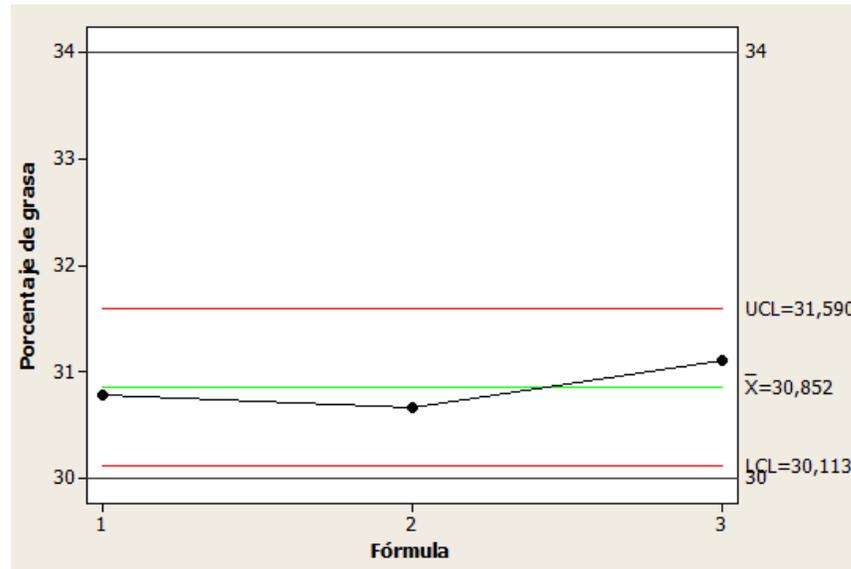
**Tabla 19.** Media y desviación del porcentaje de grasa para los tratamientos.

	Sin homogenización	Con homogenización
	Media	Media
Fórmula 1	29,67	30,7778
Fórmula 2	29,11	30,6667
Fórmula 3	30,44	31,111

**Grafica 3.** Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas sin homogenización.

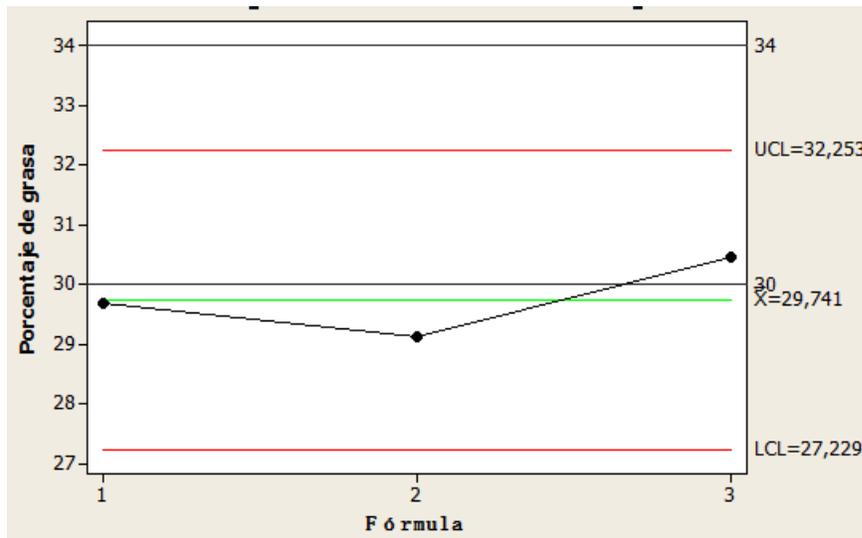


**Grafica 4.** Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas con homogenización.



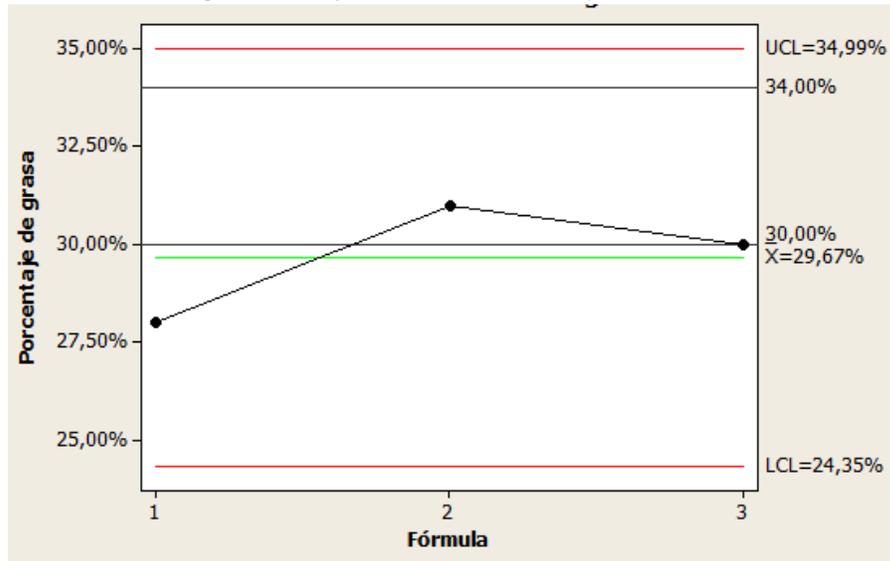
Por otro lado se tuvieron en cuenta otros aspectos para analizar el comportamiento de la estabilidad de la crema, considerando no realizar tratamientos de tipo mecánico (agitación) como se hace normalmente y la temperatura de almacenamiento del producto ya sea en condiciones de refrigeración (4°C) o a temperatura ambiente. En las **Gráficas 5, 6, 7 y 8** se ve el comportamiento del porcentaje de grasa para cada fórmula dependiendo si la crema está refrigerada y por otro lado si hay o no homogenización en la crema de leche. Según los resultados se puede afirmar que refrigerar el producto durante su almacenamiento le provee estabilidad en cuanto al nivel de los componentes de la crema de leche, pues con la temperatura de refrigeración aumenta la estabilidad de las micelas de caseína, sin embargo, si bajan estas temperaturas y se produce la congelación parcial del producto los glóbulos se cristalizarán produciendo fisuras en la membrana del glóbulo, liberando de este modo los triglicéridos que serán atacados por las enzimas lipasas, las cuales son responsables de producir el enranciamiento de la crema, adicionando de igual manera el efecto de la homogenización a la estabilidad; que comparándolo con un almacenamiento a temperatura ambiente ofrece mejores comportamientos del porcentaje de grasa. También cabe resaltar que para estos análisis con la fórmula 3 se consiguieron mejores resultados, que se encuentran entre los rangos de aceptación, al presentar una mejor acción en la estabilidad de la crema de leche por parte del gelificante seleccionado.

**Grafica 5.** Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas, sin homogenización y almacenadas con refrigeración.

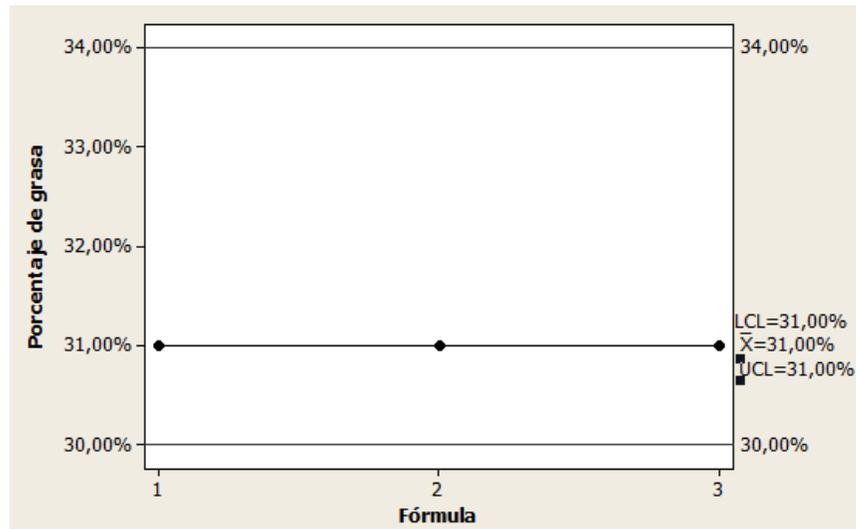


Por otro lado, se comportamiento sobresaliente de las cremas que se almacenaron a temperatura ambiente puesto que no recibieron ningún tratamiento mecánico (sin agitación) y el resultado de la variable en análisis está entre los rangos permitidos, esto para las fórmulas nuevas en estudio (ver gráfico 6 y 8) y en mayor medida para fórmula 3; con esto se puede concluir que la agitación del producto es un factor que se debe tener en cuenta para no afectar la estabilidad de la emulsión pues una agitación indebida por exceso afecta la estructura del coágulo e induce la separación del suero contenido en este presentándose sinéresis.

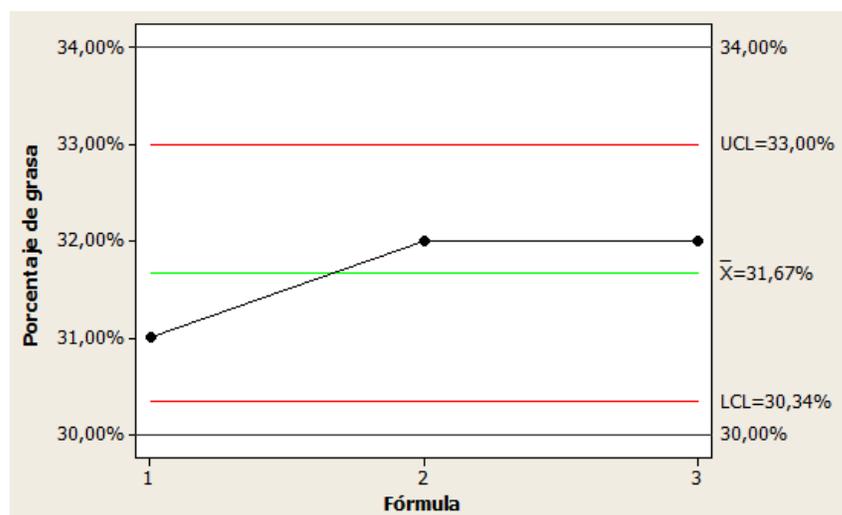
**Grafica 6.** Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas, sin homogenización y almacenadas a temperatura ambiente.



**Grafica 7.** Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas, con homogenización y almacenadas con refrigeración.

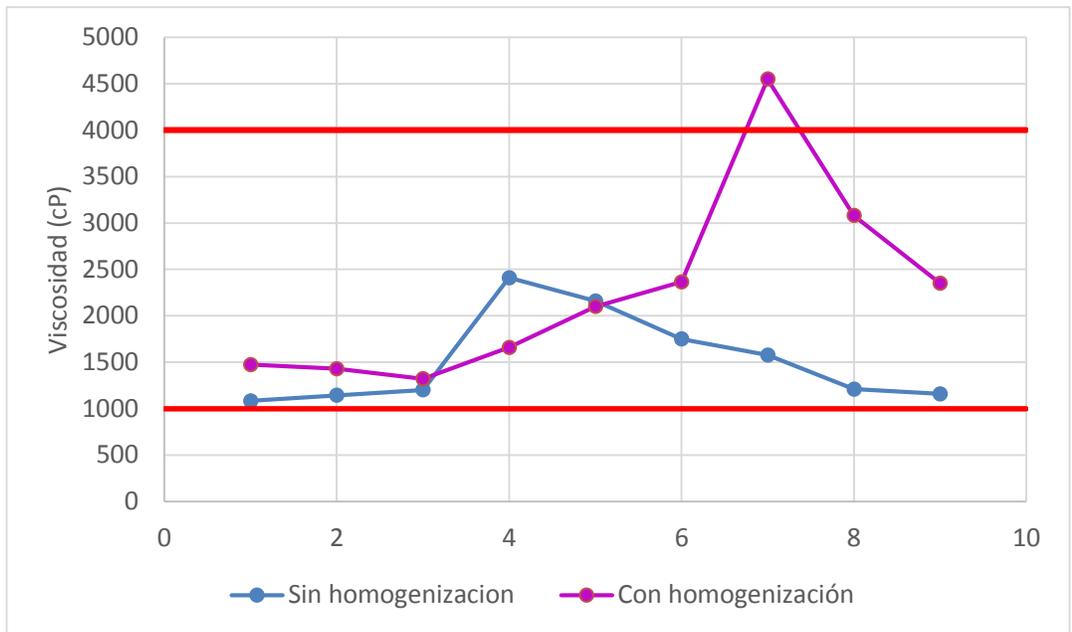


**Grafica 8.** Comportamiento del porcentaje de grasa para las tres fórmulas, con homogenización y almacenadas a temperatura ambiente.



Paralelamente en cuanto a los resultados de los análisis de viscosidad (ver **Anexo C**), es evidente la mejora en cuanto a esta propiedad al adicionar la unidad de homogenización al proceso, anterior a la esterilización de la crema de leche por razones que se han venido mencionando durante el desarrollo del proyecto, pues el cambio en el tamaño de los glóbulos de grasa permite una mejor dispersión en la emulsión haciendo que sea más uniforme por el rompimiento que sufren estos al ser homogenizados mejorando la reología de la crema pues hace que la dispersión de sus componentes sea más uniforme. Todos los resultados se encuentran dentro del rango de aceptación para este tipo de crema (ver **Tabla 4**), más del 50% presentan una mejora de la viscosidad al hacer homogenización, especialmente para la fórmula 3 (ver **Gráfica 9**) donde los resultados tienen un valor cercano a los 1000 cP, incrementando dichos valores luego de efectuar la homogenización alcanzando resultados por encima de los 2000 cP. Respecto a la fórmula 2 los valores de viscosidades con o sin homogenización son cercanos sin haber una diferencia significativa, aunque se ve un mejor comportamiento de ésta propiedad si se compara con la primera fórmula que es la manejada en planta industrial hoy por hoy.

**Gráfica 9.** Comportamiento de la viscosidad de la crema de leche tratada sin y con homogenización.



#### 4. PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA DE LECHE

De acuerdo a los resultados obtenidos luego de la experimentación, se plantea una propuesta de mejora la cual consiste en una modificación en el proceso actual de producción, teniendo en cuenta una nueva formulación para los estabilizantes y la adición de una etapa de homogenización previa a la esterilización de la crema, factores que tienen efecto sobre la generación de sinéresis.

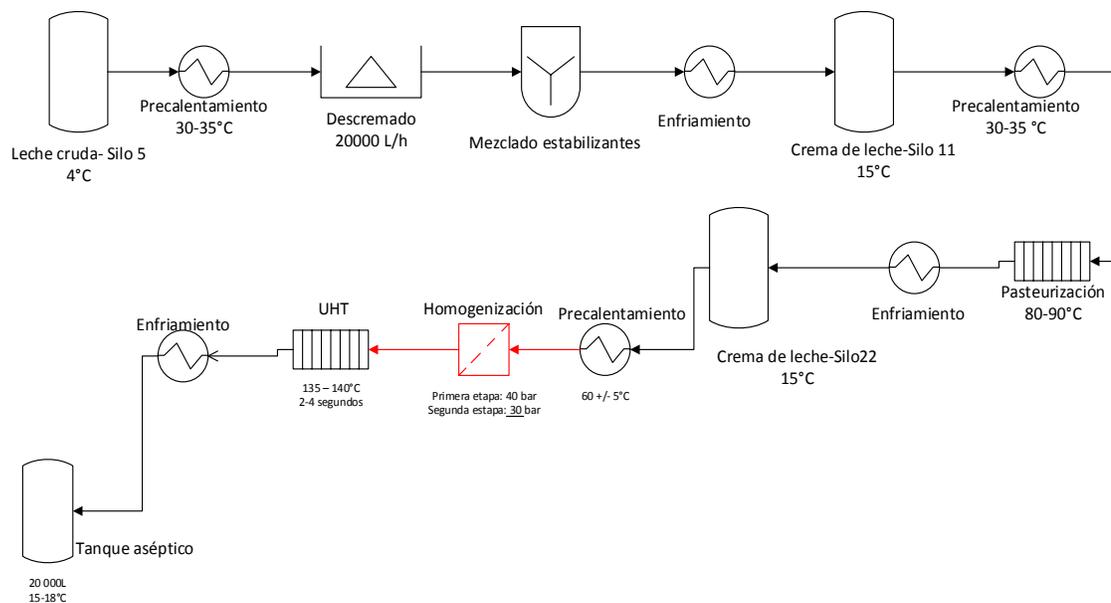
Respecto a la adición de la unidad de homogenización hay que mencionar en principio que el equipo ya se encuentra instalado en la planta de producción haciendo parte de la línea del Stork 4000 junto con el tanque balanza encargado de recibir la crema de leche para la fase final de tratamiento térmico y los intercambiadores utilizados para el precalentamiento, proceso UHT y enfriamiento en la planta industrial, por consiguiente no hay necesidad de hacer una inversión para la compra de uno nuevo con el mismo funcionamiento.

El homogenizador es una bomba de alta presión, cuenta con una capacidad total de 4.000 l/h, para la crema se manejan 3.000 l/h. Usualmente está ubicado después de la tapa de precalentamiento o regeneración de un intercambiador de calor. Como el proceso UHT es en sistema indirecto, el equipo se coloca previo a la fase aséptica si se ubicara después, este debería contar con barrera aséptica en la válvula de homogenización. El flujo es controlado por el motor del mismo, el cual si se opera normalmente recibe la crema procedente del intercambiador de placas a 60°C +/- 5°C e ingresa al bloque de bombeo y es presurizado mediante el pistón de la bomba. La presión que se consigue viene determinada por la contrapresión dada por la distancia entre el émbolo y el asiento en el dispositivo de homogenización. La amplitud del orificio es de aproximadamente 0,1 mm, la velocidad del fluido es entre 100-400 m/s y la homogenización se da en 10-15 microsegundos. El efecto de la homogenización se crea por una fuerza aplicada que cierra parcialmente el paso del producto en la válvula de homogenización, entre mayor sea la presión menor será la abertura de la válvula donde en la primera etapa se rompen los glóbulos de grasa a la presión establecida y posteriormente en la segunda etapa se hace la distribución de los mismos en la crema, evitando la formación de grumos (ver **Diagrama 3**).

El uso del equipo se limita al paso de producto por la estructura, de forma similar a una tubería, dado que durante las ocasiones que se ha puesto en funcionamiento el homogenizador, se presenta una variabilidad del flujo de producto que afecta directamente la temperatura del proceso dañando las condiciones asépticas del

producto, así como la acumulación de producto en las paredes de las tuberías. Es conveniente proponer una disminución en la velocidad de flujo, la cual permite una homogenización más efectiva, evitando variar el valor de ésta velocidad por debajo del 60% de la capacidad del equipo, debido a que se verían mayores incrementos en el consumo de energía por parte del mismo. Se calculan los costos de operación del equipo a una capacidad de 3.000 l/h que es la máxima trabajada en comparación con un valor de 2.400 l/h que equivale al 60% de la velocidad del equipo.

**Diagrama 3.** Proceso de producción de la crema de leche en Alquería con la adición de la unidad de homogenización.



Se realiza una estimación de costos referente a la alternativa de mejora del proceso teniendo en cuenta diferentes aspectos: para el caso de la implementación del homogenizador el consumo energético; en cuanto a los estabilizantes el cambio en la formulación afecta los costos de materia prima dependiendo los estabilizantes a usar, haciendo una comparación de la fórmula actual con la fórmula 3 que según los análisis del capítulo anterior ofrece los mejores resultados en cuanto a la propiedad de interés del producto (ver **Tabla 22 y 23**),.

Para realizar los cálculos se tienen en cuenta los datos consignados en la **tabla 20**.

**Tabla 20.** Consumo energético del homogenizador.

	Potencia (HP)	Consumo de energía (kW/h)

<b>Motor</b>	60	45
<b>Bomba de lubricación</b>	1	0,75

Costo para el consumo de energía asociado al homogenizador con una capacidad de 3000 l/h.

Motor:

$$45 \frac{kW}{h} * \frac{\$358}{1 kW} = 16110 \frac{\$}{h}$$

$$\frac{16.110 \frac{\$}{h}}{3.000 \frac{Litro}{h}} = 5,37 \frac{\$}{Litro}$$

Bomba de lubricación:

$$0,75 \frac{kW}{h} * \frac{\$358}{1 kW} = 268,5 \frac{\$}{h}$$

$$\frac{268,5 \frac{\$}{h}}{3.000 \frac{Litro}{h}} = 0,09 \frac{\$}{Litro}$$

Costo para el consumo de energía asociado al homogenizador con una capacidad de 2400 l/h.

Motor:

$$45 \frac{kW}{h} * \frac{\$358}{1 kW} = 16.110 \frac{\$}{h}$$

$$\frac{16.110 \frac{\$}{h}}{2.400 \frac{Litro}{h}} = 6,71 \frac{\$}{Litro}$$

Bomba de lubricación:

$$0,75 \frac{kW}{h} * \frac{\$358}{1 kW} = 268,5 \frac{\$}{h}$$

$$\frac{268,5 \frac{\$}{h}}{2.400 \frac{\text{Litro}}{h}} = 0,11 \frac{\$}{\text{Litro}}$$

Costo para el consumo de agua manejando una capacidad de 3.000 l/h.

$$\frac{1m^3}{h} * \frac{3400 \$}{1m^3} = 3400 \frac{\$}{h}$$

$$\frac{3.400 \frac{\$}{h}}{3.000 \frac{\text{Litro}}{h}} = 1,133 \frac{\$}{\text{Litro}}$$

Costo para el consumo de agua manejando una capacidad de 2.400 l/h.

$$\frac{1m^3}{h} * \frac{3400 \$}{1m^3} = 3400 \frac{\$}{h}$$

$$\frac{3.400 \frac{\$}{h}}{2.400 \frac{\text{Litro}}{h}} = 1,41 \frac{\$}{\text{Litro}}$$

Mediante la suma de los costos por consumo de energía (motor y bomba) y consumo de agua, para cada flujo de crema de leche; se determina el costo total de operación del homogeneizador. Estos se resumen en la **Tabla 21**.

**Tabla 21.** Costo de operación del homogeneizador según el flujo de crema de leche.

	<b>Costo operación (\$/l)</b>
<b>3000 l/h</b>	6,59
<b>2400 l/h</b>	8,24

**Tabla 22.** Costos estabilizantes fórmula 1.

<b>Estabilizante</b>	<b>Cantidad por lote (Kg)</b>	<b>Precio por Kg</b>	<b>Precio por lote</b>
<b>A</b>	3,74	2.389,81	8.942,67
<b>B</b>	3	6.454,51	19.363,53

<b>C</b>	2,4	5.495,18	13.188,43
<b>D</b>	12,98	95.383,25	1'.237.597,67

Costo estabilizante A por cada lote de producción

$$8.942,66902 \frac{\$}{\text{Lote}} * \frac{1 \text{ lote}}{10.000} = 0,89 \frac{\$}{\text{Litro}}$$

Costo estabilizante B por cada lote de producción

$$19.363,53 \frac{\$}{\text{Lote}} * \frac{1 \text{ lote}}{10.000} = 1,93 \frac{\$}{\text{Litro}}$$

Costo estabilizante C por cada lote de producción

$$13.188,432 \frac{\$}{\text{Lote}} * \frac{1 \text{ lote}}{10.000} = 1,31 \frac{\$}{\text{Litro}}$$

Costo estabilizante D por cada lote de producción

$$1'.237.597,669 \frac{\$}{\text{Lote}} * \frac{1 \text{ lote}}{10.000} = 123,76 \frac{\$}{\text{Litro}}$$

Costo fórmula 1 por litro de crema de leche

$$0,8942669 + 1,936353 + 1,3188432 + 123,7597669 = 127,91 \frac{\$}{\text{Litro}}$$

**Tabla 23.** Costos estabilizantes fórmula 3.

<b>Estabilizante</b>	<b>Cantidad por lote (Kg)</b>	<b>Precio por Kg</b>	<b>Precio por lote</b>
<b>A</b>	3,8	2.389,81	9.081,28
<b>B</b>	3	6.454,51	19.363,53
<b>C</b>	5	5.495,18	27.475,9
<b>G</b>	21,2	43.900	930.680

Costo estabilizante F por cada lote de producción

$$930.680 \frac{\$}{\text{Lote}} * \frac{1 \text{ lote}}{10.000} = 93,07 \frac{\$}{\text{Litro}}$$

Costo fórmula 3 por cada litro de crema de leche

$$0,9081278 + 1,936353 + 2,74759 + 93,068 = 98,66 \frac{\$}{\text{Litro}}$$

NOTA: para la fórmula 3 la cuales incluye de igual manera los estabilizantes A, B y C; se realiza el mismo cálculo que en la fórmula 1, haciendo diferencia en la cantidad (Kg) utilizado de cada estabilizante.

Por último se halla el costo para la propuesta, se realiza tanto para el flujo de crema de leche que se maneja generalmente durante el proceso y para el flujo que se propone, con el propósito evitar un mal funcionamiento del homogenizador, sin tener en cuenta el costo adicional relacionado a la crema cruda, el cual no tiene ningún tipo de variación (ver **Tabla 24**).

**Tabla 24.** Costo de la propuesta para cada flujo de crema de leche.

	<b>Fórmula(\$/l)</b>	<b>Homogenización (\$/l)</b>	<b>Costo propuesta(\$/l)</b>
<b>3000 l/h</b>	127,91	6,59	134,5
	98,66		105,25
<b>2400 l/h</b>	127,91	8,24	136,15
	98,66		106,90

## 5. CONCLUSIONES

- Se efectuó el diagnóstico actual del proceso productivo, encontrando que aproximadamente más del 70% de los lotes de crema de leche producidos al mes presentan inconsistencias ligadas al fenómeno estudiado (sinéresis) en la etapa final comprendida entre el proceso UHT y el envasado de la crema de leche en donde, pudiendo establecer al porcentaje de grasa como la propiedad afectada en mayor medida al igual que la viscosidad.
- Según la experimentación realizada se pudo comprobar que el volumen de crema almacenada en el tanque aséptico no es una variable que origine la sinéresis, es coherente afirmar que la cantidad de producto separado es proporcional al volumen de crema contenido en dicho tanque. Mientras que se puede resaltar la mejora que se evidencia en el porcentaje de grasa al incluir la homogenización en el proceso, se mejora considerablemente la estabilidad de la crema de leche al hacer una reducción efectiva de los glóbulos de grasa disminuyendo la tendencia a la separación de las fases de la crema al momento de realizarle un posterior tratamiento térmico (esterilización) y mecánico.
- La viscosidad es mejorada cuando se homogeniza la crema, llevándola a valores más cercanos al promedio entre los valores establecidos para la liberación del producto.
- Se observó un mejor comportamiento de la crema cuando se almacena a temperaturas bajas (entre 3 y 4°C), comparándola con un almacenamiento a temperatura ambiente.
- La estabilidad de la crema se vio afectada por la agitación realizada durante la experimentación y en mayor medida cuando en el ensayo no se incluía la homogenización, teniendo en cuenta que se manejó una velocidad promedio de 50 rpm cada 6 minutos durante una hora.
- La crema de leche es vulnerable a cualquier tratamiento ya sea térmico o mecánico, por lo que es muy importante formular estabilizantes que le proporcionen estabilidad y mejores características al producto ante estos tratamientos. La fórmula utilizada actualmente presenta falencias en relación a lo dicho anteriormente, haciendo más propenso al producto a la sinéresis. Por lo que se propone a la empresa replantear la fórmula de la crema de leche teniendo en cuenta que el impacto de la sinéresis en el producto disminuye cuando se

una la fórmula 3 y que aparte, tiene la ventaja de disminuir el costo por litro de crema de leche producido en un 23% aproximadamente.

## 6. RECOMENDACIONES

- Este proyecto deja abierta la posibilidad de implementación de la propuesta de mejora al proceso productivo, con el propósito de dar solución al problema originado.
- Llevar un control referente al nivel de crema almacenado en el tanque aséptico durante el proceso de producción, con el fin de evitar grandes cantidades de barrido de producto para ser reprocesado.
- Estandarizar los tiempo de permanencia de crema de leche en el tanque aséptico, buscando que sea lo más mínimo posible.
- Evaluar una alternativa en relación a los tiempos de agitación de la crema de leche durante su almacenamiento antes del envasado, puesto que un exceso en la agitación repercute en la estabilidad del producto.
- Ajustar los valores de presión para las dos etapas de homogenización en planta industrial, dado el caso que se decida implementar la propuesta en esta planta.
- Se recomienda tener en cuenta todas las propiedades de los estabilizantes, las cuales deben adaptarse a las condiciones del proceso, por ejemplo: solubilidad, viscosidad, gelificación, estabilidad, tixotropía, entre otros.
- Considerar la alternativa de incluir leche en polvo dentro de la formulación puesto que aumenta el contenido en proteína y sólidos totales aspectos que contribuyen a la estabilidad de la crema de leche.

## BIBLIOGRAFIA

- ALAIS, Charles. Ciencia de la Leche: Principios de Técnica Lechera, 4 ediciones, 2003.
- BARREIRO, José; SANDOVAL, Aleida. Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas, 2006.
- BEJARANO CHAPARRO, Juan Sebastián; TAMAYO MEJIA, Juan David. Evaluación del efecto del tiempo de maduración de la crema de leche para el mejoramiento de la calidad en productos naturales de la Sabana Alquería S.A. sede Enrique Cavelier, 2013.
- BELLO GUTIÉRREZ, José. Ciencia Bromatológica: Principios Generales de Los Alimentos. 2000.
- CASTRO RIOS, Katherine. Tecnología de alimentos, 2010.
- GOMEZ DE ILLERA, Margarita. Tecnología de Lácteos. 2005
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Sistema de gestión de la calidad fundamentos y vocabulario. NTC-ISO 9001. Bogotá D.C.: El Instituto, 2005. 36 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008 110 p.
- J.A LUCEY, M TAMEHANA, H SINGH, P.A MUNRO, A comparison of the formation, rheological properties and microstructure of acid skim milk gels made with a bacterial culture or glucono- $\delta$ -lactone, 1998.
- M. CASTILLO, J.A. LUCEY, T. WANG, F.A. PAYNE, Effect of temperature and inoculum concentration on gel microstructure, permeability and syneresis kinetics. Cottage cheese-type gels, 2005.
- OCHOA M, Isabel; GARCIA G, Ofelia. Derivados lácteos, 1987.
- REVILLA, Aurelio. Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis, segunda edición, 1982.
- ROMERO DEL CASTILLO SHELLY, Roser; MESTRES LAGARRIGA, Josep. Productos Lácteos: Tecnología, 2004.
- SARRIA RUIZ, Beatriz. Efectos del Tratamiento Térmico de Fórmulas Infantiles y Leche de Vaca Sobre la Biodisponibilidad Mineral y Proteica. 1998.

SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL, Yoghurt y crema. Guías empresariales, 2000

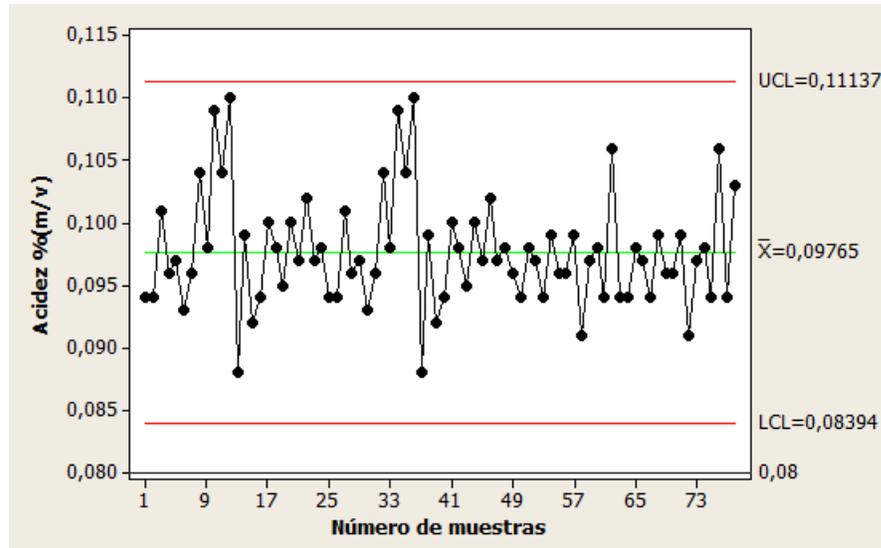
TETRA PACK, Manual de industria láctea, 1996.

# **ANEXOS**

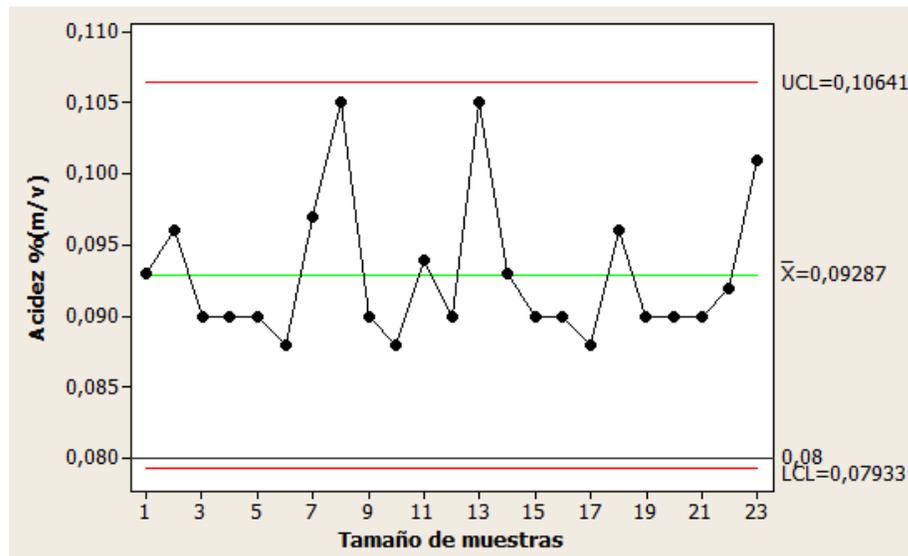
## ANEXO A

### GRAFICAS DE ANALISIS DE PROPIEDADES PARA LA LECHE CRUDA, PRODUCTO TERMINADO (CREMA DE LECHE) EN SILOS Y PRODUCTO TERMINADO

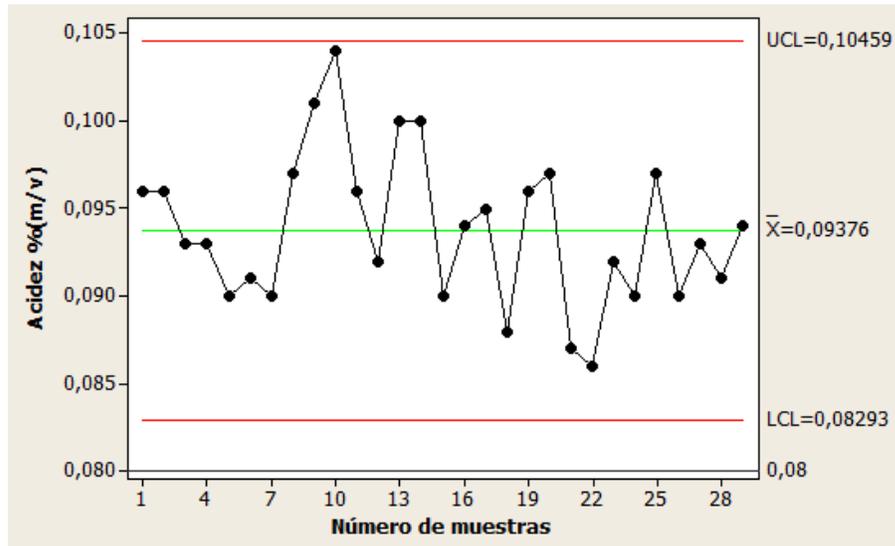
Grafica de acidez mes de Julio silo 11



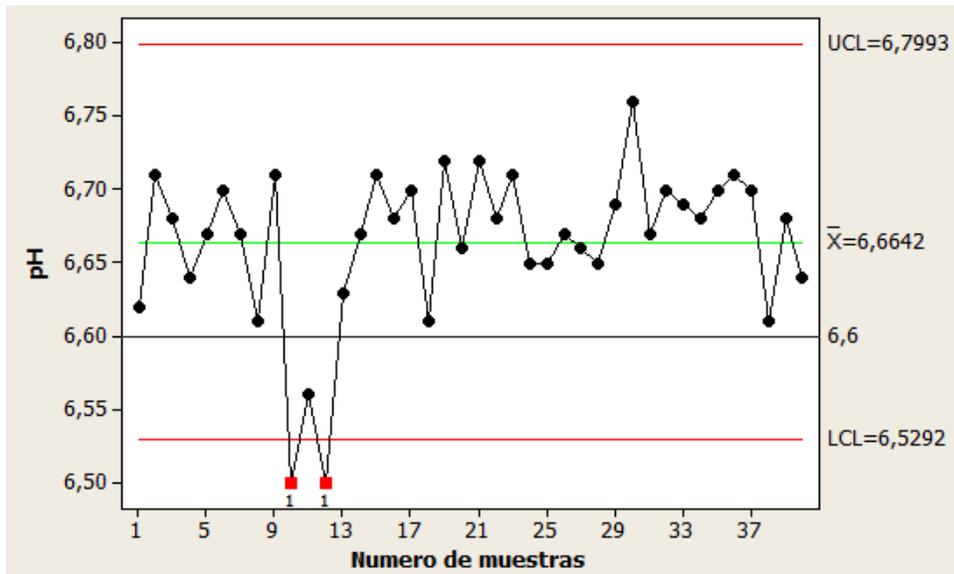
Grafica de acidez mes de Julio silo 22



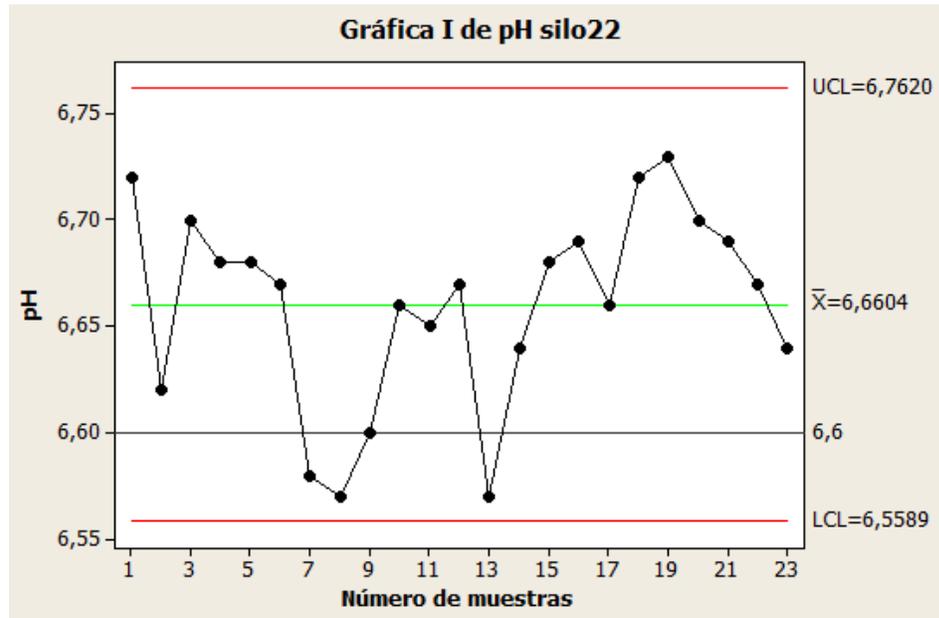
Gráfica acidez silo 25, mes de Julio



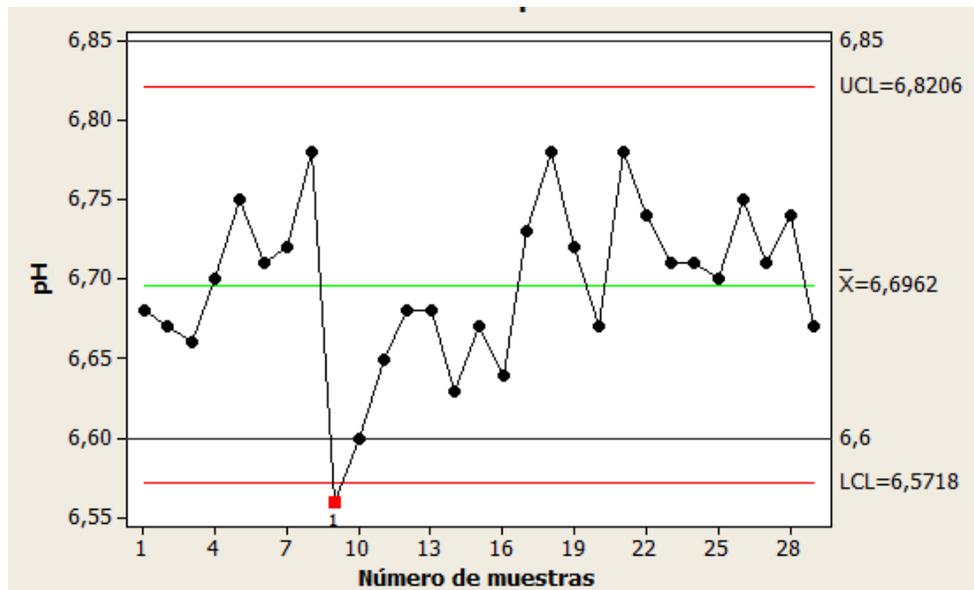
Gráfica pH silo 11, mes de Julio



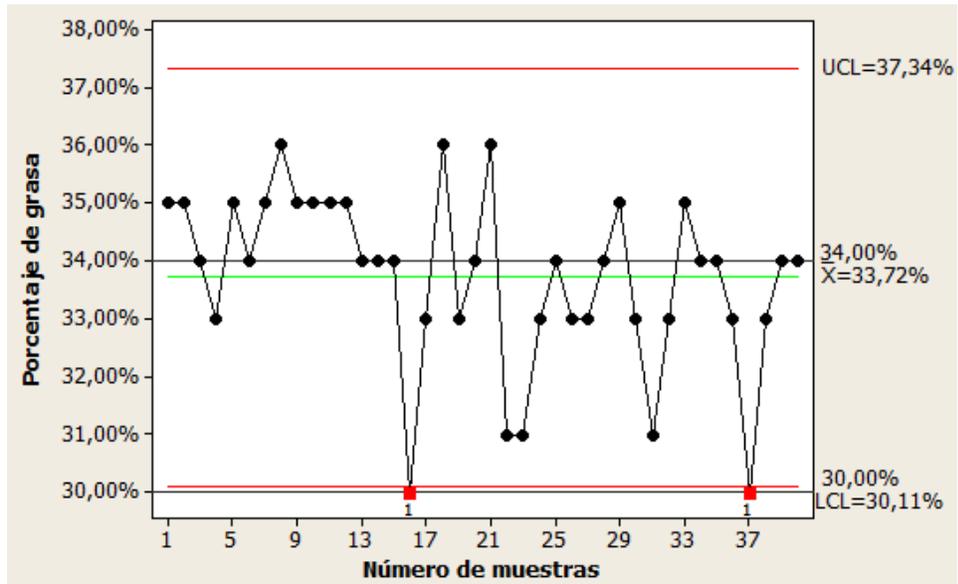
Gráfica pH silo 22, mes de Julio.



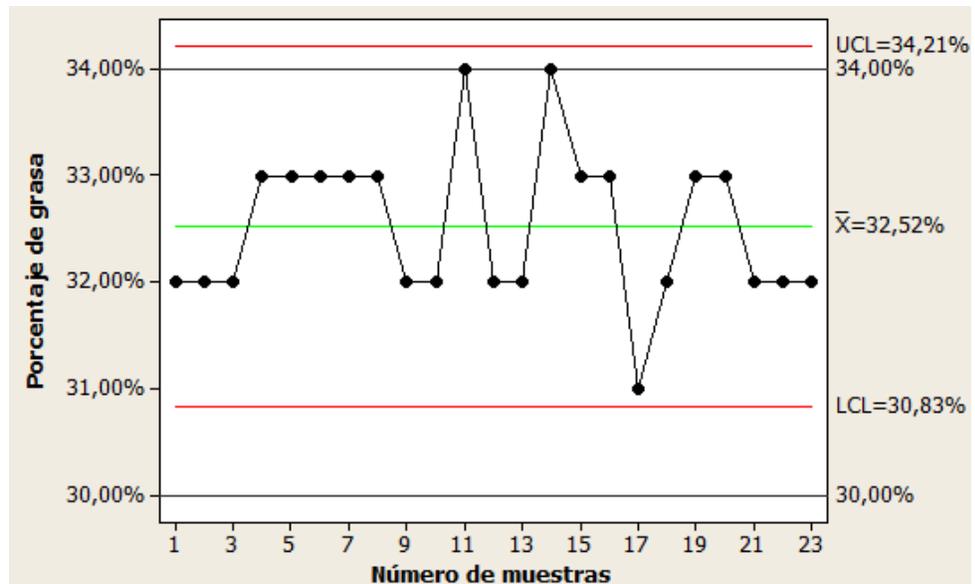
Gráfica pH silo 25, mes de Julio



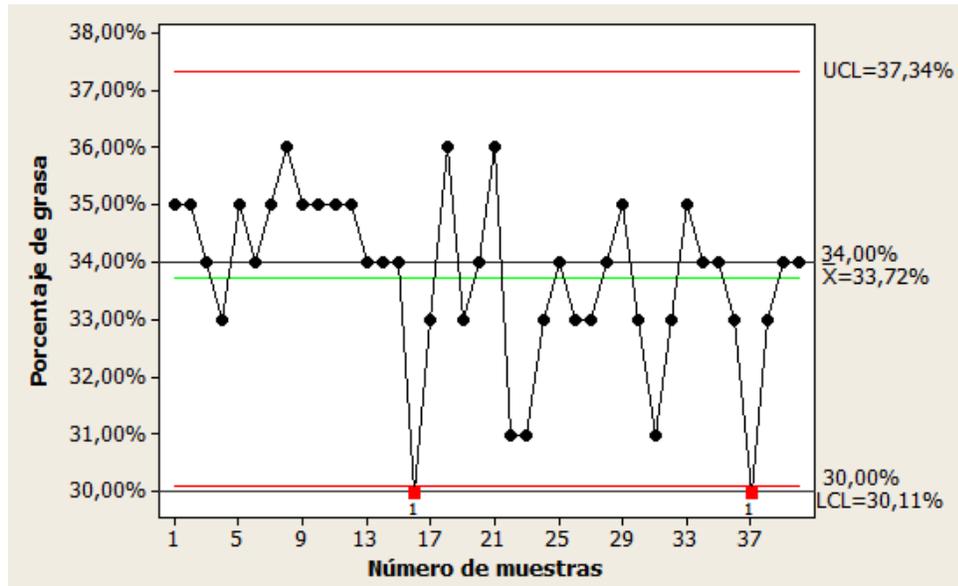
Gráfica porcentaje de grasa silo 11, mes de Julio



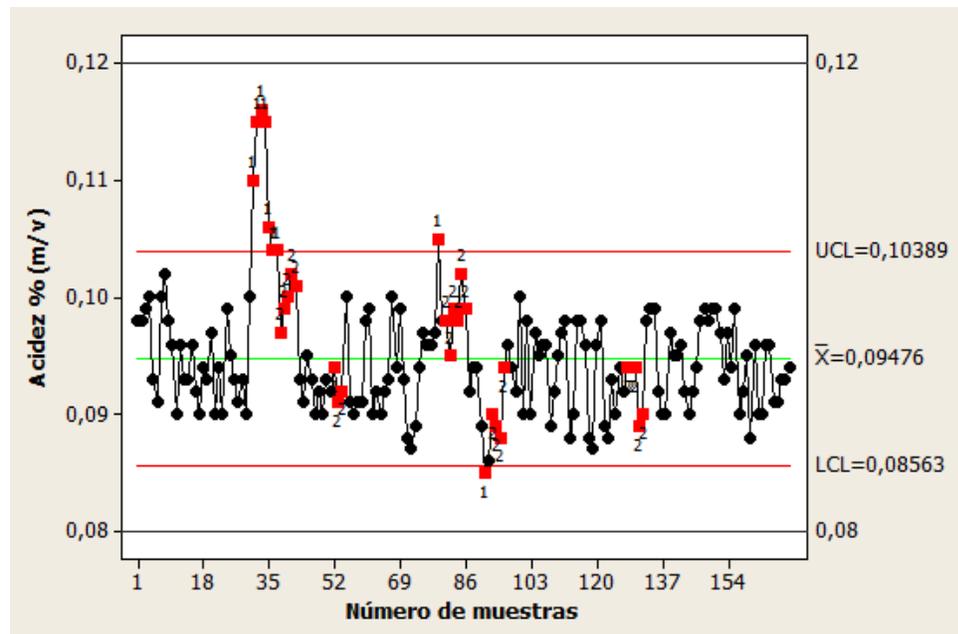
Gráfica porcentaje de grasa silo 22, mes de Julio



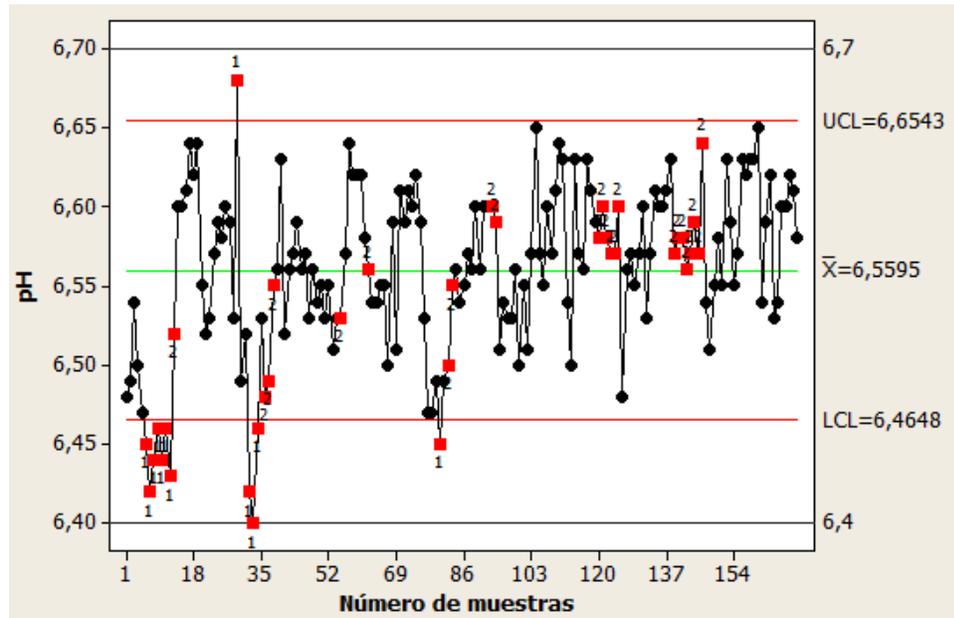
Gráfica de porcentaje de grasa silo 25, mes de Julio



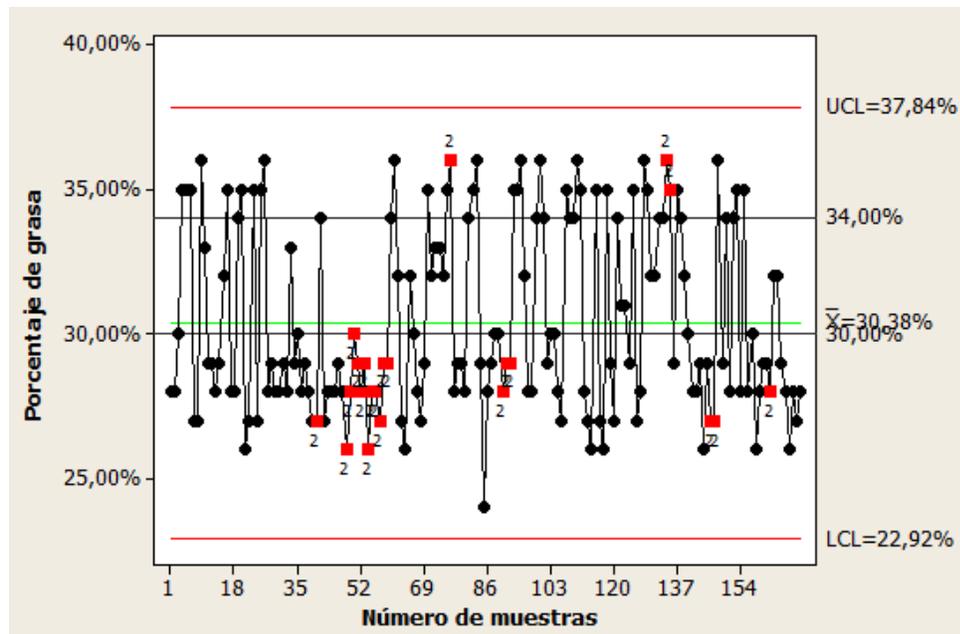
Gráfica de acidez mes de Julio producto terminado



Gráfica de pH mes de Julio producto terminado



Gráfica de porcentaje de grasa mes de Julio producto terminado



## ANEXO B

### PROCEDIMIENTO DE MEDICION DE PORCENTAJE DE GRASA (PRUEBA DE GRASA POR GERBER)

#### Materiales

- Butirómetro de 70%
- Pipeta de 10 ml.
- Pipeteador.
- Centrífuga.
- Balanza analítica.
- Ácido sulfúrico.
- Corcho.
- Agua.
- Beaker de 50 ml.
- Alcohol isoamílico

#### Metodología

1. Añadir ácido sulfúrico al butirómetro.
2. En el beaker añadir agua, hasta llenar más de la mitad de este.
3. Tarar la balanza con el butirómetro dentro del beaker.
4. Añadir 5 g de crema de leche y 5 g de agua, en el butirómetro.
5. Añadir 1ml de alcohol isoamílico al butirómetro, encargado de separar la grasa de los demás componentes de la crema debido a la polaridad similar.
6. Tapar el butirómetro con el corcho y agitar suavemente, hasta notar un aumento en la temperatura garantizando que la proteína esté totalmente disuelta.

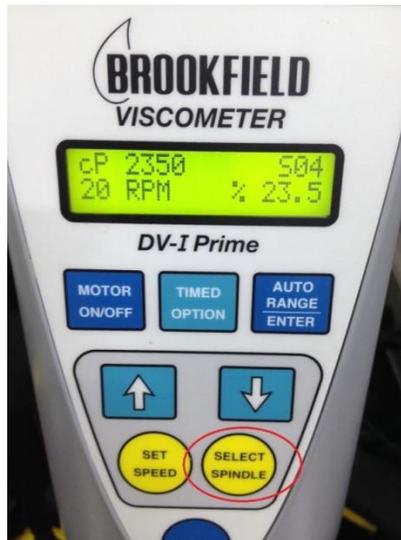
7. Centrifugar la muestra durante 5 minutos para que se genere la separación de fases a una velocidad entre 1200 a 1400 rpm, separando la fase no polar (constituida por grasa) de la polar (resto de componentes).
8. Tomar la lectura en la escala del butirómetro teniendo finalmente el porcentaje de grasa.

## ANEXO C

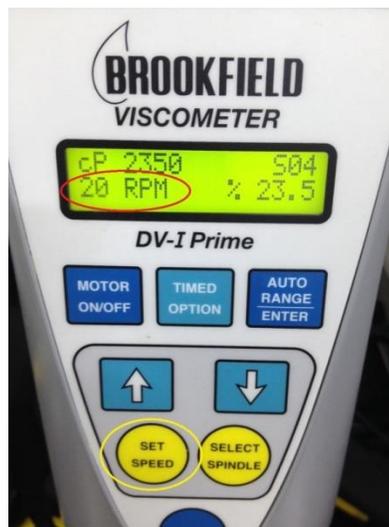
### PROCEDIMIENTO DE MEDICION DE VISCOSIDAD

Para poder realizar la prueba de viscosidad es necesario que hayan transcurrido 48 horas luego de hacer el ensayo de producción de la crema.

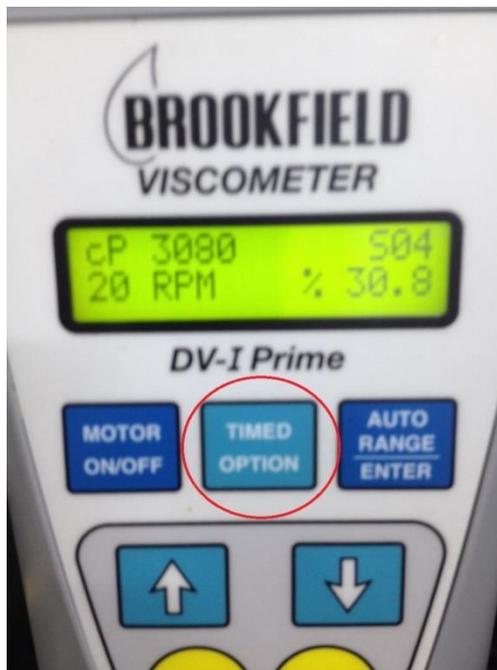
1. Colocar en un Beaker 500 ml de crema de leche a analizar, como mínimo 400 ml, teniendo en cuenta que la aguja debe sumergirse en la muestra pasando la marca que tiene. Verificar que la temperatura se encuentre en un rango entre 19 a 21 °C debido a que si no está en este rango se puede obtener lecturas de viscosidad incorrectas.
2. Colocar en un Beaker 500 ml de crema de leche a analizar, como mínimo 400 ml, teniendo en cuenta que la aguja debe sumergirse en la muestra pasando la marca que tiene.
3. Utilizar el viscosímetro adecuando para la medición sabiendo que hay tres tipos de viscosímetros dependiendo si la viscosidad de la muestra es baja, media o alta, para este caso se usa uno de viscosidad media el cual se ajusta a la crema de leche.
4. Comprobar que el viscosímetro se encuentre nivelado teniendo en cuenta que la burbuja del nivel este centrada; si no se encuentra nivelado centrar la burbuja con los tornillos de nivel que se encuentran en la base del equipo.
5. Prender el viscosímetro, localizando el botón on/off al respaldo del equipo, esperando un tiempo prudente de 1 minuto aproximadamente.
6. Si hay una aguja en el momento de prender el equipo se presiona cualquier tecla para esperar que se ajuste y poderla retirar, si no hay una aguja presionar cualquier tecla y esperar que se ajuste.
7. Ajustar la aguja para la medición de la viscosidad teniendo especial cuidado con el equipo, la aguja adecuada para una medición confiable se selecciona teniendo en cuenta el porcentaje de torque que arroje el viscosímetro el cual debe estar en un rango superior al 15% e inferior al 90%, con un valor optimo cercano al 50%. El número de aguja se selecciona de igual manera con el botón **SELECT SPINDLE**.



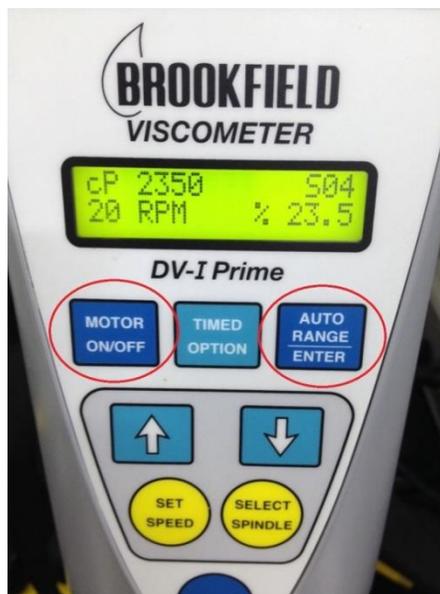
8. Configurar la velocidad del viscosímetro para la medición en el botón **SET SPEED**, se ajusta a 20 rpm.



9. Ajustar el tiempo de medición en un minuto pulsando la tecla **TIMED OPTION**



10. Presionar el botón AUTO RANGE y para iniciar la medición pulsar el botón MOTOR ON/OFF. Proceder con la lectura de viscosidad dada en centipoise (cP).



**Resultados de la prueba de viscosidad para las tres fórmulas tratadas con o sin homogenización**

	Sin homogenización		Con homogenización	
	Viscosidad cP	% torque	Viscosidad cP	% torque
<b>Formula 1</b>	1084	59,2%	1474	73,7%
	1144	57,2%	1430	71,5%
	1202	60,4%	1322	66,1%
<b>Formula 2</b>	2410	24,2%	1660	33,1%
	2160	21,6%	2100	42,0%
	1750	17,5%	2365	47,3%
<b>Formula 3</b>	1578	77,6%	4550	45,5%
	1211	61,2%	3080	30,8%
	1160	49,1%	2350	23,5%

## ANEXO D

### MUESTRA DE IMÁGENES ENSAYOS PLANTA PILOTO

### Ensayos 1, 2 y 3

- Fórmula actual trabajada en planta industrial
- Sin homogenización

Segundo ensayo luego de 18 horas con los tres niveles de volumen (crema agitada durante una hora)



Primer, segundo y tercer ensayo luego de 18 horas (crema sin agitación).



Primer, segundo y tercer ensayo refrigerados a 4°C luego de 18 horas (crema sin agitación).



### Ensayos 4, 5 y 6

- Fórmula actual trabajada en planta industrial
- Con homogenización: 40 bar primera etapa y 30 bar segunda etapa.

Sexto ensayo luego de 18 horas con los tres niveles de volumen (crema agitada durante una hora).



Cuarto, quinto y sexto ensayo luego de 18 horas (crema sin agitación).



Cuarto, quinto y sexto ensayo refrigerados a 4°C luego de 18 horas (crema sin agitación).



## Ensayos 7, 8 y 9

- Segunda fórmula probada en planta piloto (I+D)
- Sin homogenización

Octavo ensayo luego de 18 horas con los tres niveles de volumen (crema agitada durante una hora).



Séptimo, octavo y noveno ensayo luego de 18 horas (crema sin agitación).



Séptimo, octavo y noveno ensayo refrigerados a 4°C luego de 18 horas (crema sin agitación).



### Ensayos 10, 11 y 12

- Segunda fórmula probada en planta piloto (I+D)
- Con homogenización: 40 bar primera etapa y 30 bar segunda etapa.

Decimo ensayo luego de 18 horas con los tres niveles de volumen (crema agitada durante una hora).



Ensayos 10, 11 y 12 luego de 18 horas (crema sin agitación).



Ensayos 10, 11 y 12 refrigerados a 4°C luego de 18 horas (crema sin agitación).



### Ensayos 13, 14 y 15

- Tercera fórmula probada en planta piloto (I+D)
- Sin homogenización.

Ensayo 15 luego de 18 horas con los tres niveles de volumen (crema agitada durante una hora).



Ensayos 15 luego de 18 horas (crema sin agitación).



## Ensayos 16, 17 y 18

- Tercera fórmula probada en planta piloto (I+D)
- Con homogenización: 40 bar primera etapa y 30 bar segunda etapa.

Ensayo 16 luego de 18 horas con los tres niveles de volumen (crema agitada durante una hora).



Ensayos 16, 17 y 18 luego de 18 horas (crema sin agitación).



Ensayos 16, 17 y 18 refrigerados a 4°C luego de 18 horas (crema sin agitación).

