

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TITULACIÓN POR EXAMEN PROFESIONAL

Trabajo Monográfico:

**“CAMBIOS FÍSICO QUÍMICOS, SENSORIALES Y
NUTRICIONALES, DEBIDO A LA EVAPORACIÓN DE LA
LECHE FRESCA ENTERA”**

Presentado por:

JORGE ANDRÉS VALDIVIA CALIXTO

Lima – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“CAMBIOS FÍSICO QUÍMICOS, SENSORIALES Y NUTRICIONALES, DEBIDO
A LA EVAPORACIÓN DE LA LECHE FRESCA ENTERA”**

Presentado por:

JORGE ANDRÉS VALDIVIA CALIXTO

TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Walter F. Salas Valerio

PRESIDENTE

Mg.Sc. Fanny Ludeña Urquiza

MIEMBRO

Dra. Ana Aguilar Galvez

MIEMBRO

Dra. Patricia Glorio Paulet

TUTORA

Lima - Perú

2017

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I	INTRODUCCIÓN.....	1
II	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	GENERALIDADES.....	3
2.1.1	DEFINICIÓN DE LA LECHE FRESCA	3
2.1.2	DEFINICIÓN DIETÉTICA	4
2.1.3	DEFINICIÓN DE LECHE EVAPORADA	5
2.1.4	DEFINICIÓN FÍSICA Y SUS PROPIEDADES	5
2.2	COMPONENTES DE LA LECHE FRESCA.....	6
2.2.1	GRASA	6
2.2.2	PROTEÍNA	7
2.2.3	CARBOHIDRATOS	8
2.2.4	VITAMINAS.....	8
2.2.5	MINERALES, CENIZAS Y SALES	9
2.2.6	ENZIMAS	9
2.2.7	ACIDEZ	10
2.3	VALOR NUTRITIVO DE LA LECHE.....	10
2.3.1	VALOR NUTRICIONAL.....	10
2.3.2	CALIDAD DE LAS PROTEÍNAS	11
2.3.3	CALIDAD DE LOS LÍPIDOS.....	13
2.3.4	INTOLERANCIA A LA LACTOSA.....	13
2.3.5	ESTABILIDAD DE LAS VITAMINAS	14
2.4	PROCESO DE EVAPORACIÓN DE LECHE.....	14
2.4.1	LECHE EVAPORADA	16
2.4.2	PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA LECHE EVAPORADA	17
III	DESARROLLO DEL TEMA.....	27
3.1	IMPORTANCIA DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LA LECHE FRESCA PREVIO A LA PRODUCCIÓN DE LECHE EVAPORADA ENTERA	27
3.2	EFFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LA LECHE FRESCA.....	30
3.3	CAMBIOS FÍSICOS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EVAPORADA	35

3.4	CAMBIOS QUÍMICOS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EVAPORADA ..	37
3.5	CAMBIOS NUTRICIONALES EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EVAPORADA	40
3.6	CAMBIOS SENSORIALES EN LA PRODUCCIÓN DE LA LECHE EVAPORADA	43
IV	CONCLUSIONES	45
V	RECOMENDACIONES	46
VI	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
VII	ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1:	Requisitos microbiológicos de la leche fresca de vaca	3
Cuadro 2:	Requisitos físicos y químicos de la leche fresca de vaca	4
Cuadro 3:	Composición química de la leche, leche evaporada y leche concentrada azucarada (g/100 g)	6
Cuadro 4:	Composición de los aminoácidos esenciales de la leche fresca.....	12
Cuadro 5:	Evolución en el contenido en microorganismos de la leche cruda durante 72 horas de almacenamiento en función de la contaminación inicial, a la temperatura de almacenamiento	29
Cuadro 6:	Evolución en el contenido en microorganismos de la leche cruda durante 48 horas de almacenamiento a 4 °C en función de la contaminación inicial y la velocidad de enfriamiento	30
Cuadro 7:	Comparativo de pH, viscosidad aparente y densidad en tipos de leche	36
Cuadro 8:	Porcentaje de pérdida de vitaminas de la leche por efecto del procesamiento térmico.....	42
Cuadro 9:	Porcentaje de pérdida de vitaminas de la leche por efecto del procesamiento térmico proveniente de un estudio americano.....	42
Cuadro 10:	Contenido de lisina total y disponible, en la leche y productos lácteos (g/16 g de nitrógeno)	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Estructura atómica de la lactosa.....	8
Figura 2:	Tanques adiabáticos de leche fresca y evaporada	27
Figura 3:	Crecimiento microbiano a diferentes temperaturas vs. horas	28
Figura 4:	Tanques de almacenamiento de leche fresca	29
Figura 5:	Miscelas de caseína.....	31
Figura 6:	Estructura de un glóbulo de grasa.....	32
Figura 7:	Cerradora de latas - formato <i>Baby</i>.	34
Figura 8:	Efecto ocasionado por temperatura en un tiempo de exposición.....	38
Figura 9:	Esquema de la desnaturalización de la proteína	41

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LECHE EVAPORADA ENTERA	50
----------	---	----

RESUMEN

El presente trabajo muestra los cambios físicos, químicos, sensoriales y nutricionales presentados en la leche fresca luego de ser pasteurizada, evaporada y esterilizada en latas hasta obtener un producto con esterilidad comercial. Dentro de lo mencionado, se tienen cambios importantes en la estructura de los carbohidratos, grasas y proteínas que alteran significativamente las propiedades sensoriales y nutricionales de la leche. Estos tratamientos térmicos a que se somete la leche después del ordeño, a fin de higienizarla y conservarla (para conseguir inactivación de enzimas y muerte térmica de los microorganismos), originan también un daño tecnológico de diferentes magnitudes sobre el valor biológico (proteínas y vitaminas) y sobre las características organolépticas del producto final (color, olor y sabor). Por último se resalta la importancia de la calidad inicial de la leche fresca que será sometida a estos tratamientos térmicos; la calidad está en función del tiempo y la temperatura a que se le somete durante el proceso y origina un descenso de la misma. Por ello, a mayores cuidados en la producción de leche, son menores los requerimientos de rudeza del tratamiento necesarios para protegerla del deterioro, preservando así la calidad original.

Palabras clave: Leche, Calidad, Tratamiento Térmico, Valor Biológico, Cambios de Propiedades.

ABSTRACT

The present work shows the physical, chemical, sensory and nutritional changes presented in fresh milk after being pasteurized, evaporated and sterilized in cans until a product with commercial sterility is obtained. Within the aforementioned, there are important changes in the structure of carbohydrates, fats and proteins that significantly alter the sensory and nutritional properties of milk. These thermal treatments to which milk is subjected after milking, in order to sanitize and conserve it (to achieve inactivation of enzymes and thermal death of microorganisms), also cause a technological damage of different magnitudes on the biological value (proteins and vitamins) and on the organoleptic characteristics of the final product (color, smell and taste). Finally, the importance of the initial quality of the fresh milk that will be subjected to these thermal treatments is highlighted; the quality is a function of the time and the temperature to which it is subjected during the process and these factors originate a decrease of this same quality. Therefore, the greater care in milk production, the less rough treatment requirements necessary to protect it from deterioration, would preserve the original quality.

Keywords: Milk, Quality, Heat Treatment, Biological Value, Changes in Properties.

I. INTRODUCCIÓN

La leche es uno de los alimentos que está más cercano a lo ideal en términos nutricionales ya que posee todo tipo de nutrientes en diferentes proporciones. Es debido a esto el interés de la industria lechera en utilizar diferentes procesos para conservar sus propiedades y cualidades nutritivas.

El consumidor y las sociedades lecheras están exigiendo leche cada vez de mayor calidad. El estudio de la calidad de la leche, desde el punto de vista de composición y propiedades fisicoquímicas así como sus variaciones es necesario, en primer lugar para determinar su composición nutrimental, en segundo, por su influencia en los procesos de elaboración de productos lácteos y en tercero por el creciente interés en sistemas de pago de parte de la industria láctea basados en el contenido de proteína, grasa y otros índices de calidad que han creado la necesidad de nuevos conocimientos acerca de las fuentes de variabilidad en la calidad de la leche.

Al realizar la transformación del producto de líquido a producto con menor contenido de agua en las industrias lácteas se adoptan métodos de deshidratación y uno de ellos en esta industrialización se encuentra la etapa de evaporación, donde elimina el agua del producto en cierto porcentaje y también realiza uno de sus propósitos primarios que es cumplir los requisitos bacteriológicos en el producto mediante el tratamiento térmico.

Debido a que la leche sufre diferentes transformaciones industriales para su venta al consumidor como leche tratada térmicamente o bien para la elaboración de productos lácteos, el control de calidad desde su origen es fundamental para obtener productos que cumplan las exigencias legales de calidad y que satisfagan las expectativas de los consumidores desde el punto de vista bromatológico.

Particularmente, el proceso de evaporación es bien conocido a nivel industrial y ha sido precisamente la industria lechera en donde los evaporadores han sido mejorados en su diseño, aún existe una carencia de información de las propiedades fisicoquímicas y de transporte de este material así como la evolución de éstas durante el proceso de evaporación (Vélez y Barbosa 1998).

El objetivo de este trabajo fue el de investigar los cambios de las propiedades físicas, químicas, nutricionales y sensoriales durante el proceso de concentración por evaporación.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 DEFINICIÓN DE LA LECHE FRESCA

Leche es el producto íntegro y fresco de la ordeña de una o varias vacas, sanas, bien alimentadas y en reposo, exenta de calostro y que cumpla con las características microbiológicas y físicas establecidas, presenta requisitos físico químicos únicos (cuadros 1 y 2).

La características principales que se tienen en cuenta para medir la calidad de la leche son.: densidad, índices crioscópicos y de refracción, acidez, grasa y sólidos no grasos, cantidad de leucocitos, gérmenes patógenos y presencia de antisépticos, antibióticos y sustancias alcalinas.

Cuadro 1: Requisitos microbiológicos de la leche fresca de vaca

REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS	
Conteo de Células somáticas	Máx. 500 000 unidades por ml
Numeración de microorganismos (mesófilos, aerobios y facultativos viables, por ml)	Máx. 1 000 000 ufc
Numeración de Coliformes, por ml	Máx. 1 000 ufc

FUENTE: Tomado de INDECOPI, citado por Chumbe 2003

Cuadro 2: Requisitos físicos y químicos de la leche fresca de vaca

REQUISITOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA LECHE DE VACA	
Materia Grasa (g/100 g)	Mín. 3,2
Sólidos No Graso (g/100 g)	Mín. 8,2
Sólidos Totales (g/100 g)	Mín. 11,4
Impurezas macroscópicas, expresadas en mg de impurezas por 500 cm ³ de leche	Máx. 0,5 mg (grado 2)
Acidez, expresada en g de ácido láctico por 100 g de leche	Mín. 0,14% Máx. 0,18%
Densidad a 20 °C (g/cm ³)	Mín. 1,0296
	Máx. 1,0340
Índice de Refracción del Suero, 20 °C (Lectura refractométrica 37,5)	Mín. 1,34179
Ceniza Total (g/100 g)	Máx. 0,7
Alcalinidad de la ceniza total ml HCl 0,1 N/100 g	Máx. 0,7 cm ³
Índice Crioscópico	Máx. -0,540 °C
Sustancias conservadoras y cualquier otra sustancia extraña a su naturaleza	Ausencia
Prueba de Alcohol (74% v/v Mínimo)	No coagulable
Tratamiento que disminuye o modifique sus componentes originales	Ninguno
Prueba de la Reductasa con azul de metileno	Mín. 4 h

FUENTE: Tomado de INDECOPI, citado por Chumbe 2003

2.1.2 DEFINICIÓN DIETÉTICA

De acuerdo al MINAGRI (2009), la leche es uno de los alimentos más completo que se encuentra en la naturaleza, por ser rica en proteínas, grasas, vitaminas y minerales, necesarias para la nutrición humana. La proteína de la leche, contiene una gran cantidad de aminoácidos esenciales necesarios para el organismo humano y que no puede sintetizar, la proteína que se encuentra en mayor proporción en la leche es la caseína. Entre la vitaminas que contiene están: la Vitamina B12 (riboflavina) la B1 (tiamina), y las vitamina A, D, E y K liposolubles. Entre los minerales de mayor cantidad están el calcio y el fósforo. Su contenido de grasa se debe principalmente a los triglicéridos.

La grasa de la leche está conformada principalmente por la combinación física de triglicéridos y éstos a su vez están formados por un alcohol (glicerol) y 14 ácidos grasos o más que en su mayoría son saturados excepto el ácido oleico que es insaturado y se encuentra en mayor cantidad. La combinación de éste ácido con el linoléico, el butírico y caproico es lo que hace que la grasa de la leche tenga un bajo punto de fusión.

2.1.3 DEFINICIÓN DE LECHE EVAPORADA

Se define leche evaporada al producto obtenido por eliminación de parte del contenido acuoso de la leche fresca. El Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC 1981) define a la leche evaporada como «el producto que se obtiene extrayendo parte de agua que contiene la leche y estandarizando hasta alcanzar los requisitos fijados para la norma respectiva». La leche evaporada se clasifica en: leche evaporada entera, leche evaporada semidescremada y leche evaporada descremada (cuadro 3).

2.1.4 DEFINICIÓN FÍSICA Y SUS PROPIEDADES

A continuación se detalla las características de la leche de acuerdo a Gómez (2005):

a) El olor o aroma

La leche fresca es ligeramente perceptible, sin embargo la leche está ácida o contienen bacterias coliformes, adquiere el olor característico de un establo o a estiércol de las vacas, por lo cual se le da el nombre de «olor a vaca».

b) Sabor

La leche fresca tiene un sabor medio dulce, neutro debido a la lactosa que contiene.

c) Densidad de la leche

Está relacionada con la combinación de sus diferentes componentes: el agua (1,000 g/ml); la grasa (0,931 g/ml); proteína (1,346 g/ml); lactosa (1,666 g/ml) minerales (5,500 g/ml) y sólidos no grasos (S.N.G. =1,616 g/ml).

d) Acidez

La leche cruda presenta una acidez titulable resultante de reacciones, de las cuales una de ellas corresponde a la acidez natural de la leche cruda y la otra reacción corresponde a la acidez que se va formando en la leche debido a la acción de las bacterias contaminantes.

e) pH

Es el logaritmo del inverso de la concentración de iones de hidrógeno. Cuando la concentración de iones de hidrógeno es de 10^{-1} a 10^{-7} , corresponde a un pH de 1 a 7 es decir, medio ácido. Si la concentración de iones de hidrógeno es de 10^{-7} a 10^{-14} (pH 7 a 14) el medio será alcalino (el pH =7 es neutro). Dichas variaciones depende del estado de sanidad de la leche y de los microorganismos responsables de convertir la lactosa en ácido láctico.

Cuadro 3: Composición química de la leche, leche evaporada y leche concentrada azucarada (g/100 g)

PRODUCTO	HUMEDAD	GRASA	PROTEÍNAS	CARBOHIDRATOS	CENIZAS/ MINERALES
Leche Entera	87	3,7	3,3	4,8	0,7
Leche evaporada entera	73,5	8,0	6,5	9,5	1,3 - 1,6
Leche Condensada Azucarada	27	9	8	55	1,8

FUENTE: Tomado de Vélez y Barbosa 1998

2.2 COMPONENTES DE LA LECHE FRESCA

2.2.1 GRASA

La grasa (o lípido) constituye el 3,5 por ciento de la leche, variando entre razas de vacas y las prácticas de alimentación. La grasa se encuentra presente en pequeños glóbulos suspendidos en agua. Cada glóbulo se encuentra rodeado de una capa de fosfolípidos, que evitan que los glóbulos se aglutinen entre sí repeliendo otros glóbulos de grasa y atrayendo agua. Siempre que esta estructura se encuentre intacta, la leche permanece como una emulsión. La mayoría de los glóbulos de grasa se encuentran en la forma de triglicéridos formados por la unión de glicerol con ácidos grasos (Maza y Legorreta 2011).

2.2.2 PROTEÍNA

Las proteínas de la leche tienen una estructura definida, su componente fundamental son los aminoácidos. Estos se pueden combinar de diferentes maneras tales como: enlaces peptídicos, puentes disulfuro, enlaces hidrógeno y enlaces iónicos para formar polipéptidos y estos en proteínas, pero cuando la leche es sometida a diferentes tratamientos esta estructura puede cambiar (Geosta y López 2003).

La estructura primaria está conformada por el ordenamiento de la cadena peptídica y su estabilidad se debe al enlace peptídico o de covalencia entre los aminoácidos de la cadena. La estructura secundaria o espacial constituye las cadenas de aminoácidos que se unen formando una especie de hélice, su estabilidad se debe en parte a las uniones con los átomos de hidrógeno. La estructura terciaria está conformada por varias cadenas replegadas sobre sí mismas. Su estabilidad se debe a los puentes de bisulfuro existentes entre los aminoácidos sulfurados como la cistina y las fuerzas hidrofóbicas. La estructura cuaternaria es una unión muy frágil de monómeros o pequeñas unidades moleculares, con enlaces poco energéticos (Geosta y López 2003).

La desnaturalización de las proteínas se debe a una modificación limitada de la estructura secundaria y terciaria de las proteínas, sin rompimiento de sus enlaces covalentes, ni separación de fragmentos lo que hace que se reagrupen las cadenas dando lugar a una estructuración diferente de la proteína (Geosta y López 2003).

Un ejemplo de este se puede observar en la desnaturalización o inactivación de las enzimas por efecto del calor y la separación o precipitación de las proteínas del suero (Geosta y López 2003). Las proteínas de la leche se clasifican en dos grandes grupos: caseínas 80 por ciento y proteínas séricas 20 por ciento.

a) Caseínas: Las caseínas son un conjunto heterogéneo de proteínas por lo que es difícil fijar una definición. Sin embargo, todas las proteínas englobadas en lo que se denomina caseína tienen una característica común: precipitan cuando se acidifica la leche a pH 4,6. Por ello, a la caseína también se le suele denominar proteína insoluble de la leche, las caseínas son relativamente hidrofóbicas (poco soluble en agua) y carecen de estructura secundaria a terciaria bien definidas (Geosta y López 2003).

3.2.3 CARBOHIDRATOS

En la práctica, la lactosa es el único azúcar de la leche, aunque en ella existen también en pequeña proporción poliósidos libres y glúcidos combinados.

- **Lactosa:**

El hidrato de carbono de la leche es la lactosa (azúcar de leche), un disacárido constituido por glucosa y galactosa. Está formada por la acción conjunta de la N-galactosiltransferasa y la α -lactalbúmina (lactosasintetasa) para formar la unión glucosa-galactosa; la glucosa llega a la ubre por la sangre. La lactosa es el principal agente osmótico de la leche, con lo que permite el transporte de agua desde la sangre. Reduce el licor de Fehling y es hidrolizada por la emulsina y por la enzima lactasa que es una β -glucosidasa. La fórmula estructural de la lactosa es la siguiente (figura 1):

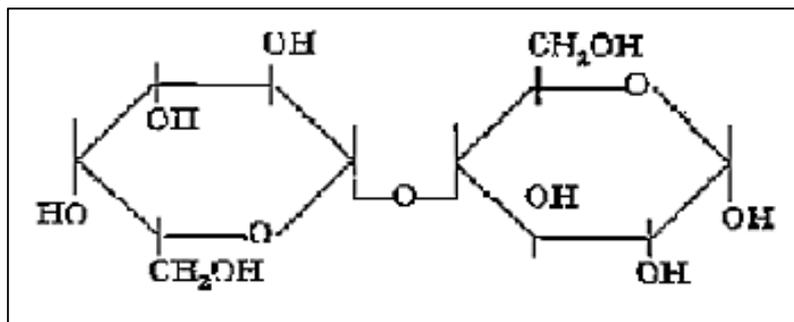


Figura 1: Estructura atómica de la lactosa.

FUENTE: Tomado de Vélez y Barbosa 1998

La leche es la única fuente conocida de lactosa, la leche de vaca tiene 4,9 por ciento de lactosa, una cantidad que no llega a endulzar debidamente a la leche. El poder edulcorante de la lactosa es cinco veces menor que el de la sacarosa y junto a las sales de la leche es la responsable de su sabor característico (Vélez y Barbosa 1998).

2.2.4 VITAMINAS

La leche contiene todas las vitaminas conocidas necesarias al hombre. Es preponderantemente rica en riboflavina. Es una buena fuente de Vitamina A y tiamina, sin embargo es pobre en niacina y ácido ascórbico. En la leche, los niveles de Vitamina A y el

de su precursor, el caroteno, están propensos a ser más elevados en el verano, cuando la vaca lo consume abundantemente debido a su alimentación más verde que en el invierno. Las diferentes razas varían en su capacidad para transformar el caroteno en vitamina A (Vélez y Barbosa 1998).

Como la vitamina A es liposoluble, se presenta en los productos lácteos en razón a su tenor de grasa. La leche contiene más vitamina D en verano que en invierno, debido a la mayor alimentación verde y al incremento de luz solar. Estas variaciones estacionales son corregidas en algunos países por la adición de vitamina D.

Según Vélez y Barbosa (1998), las vitaminas hidrosolubles están presentes en todas las formas de crema y leches. En la leche descremada la riboflavina se presenta como lactoflavina y le confiere un color verdoso.

2.2.5 MINERALES, CENIZAS Y SALES

Prácticamente todos los minerales del suelo, de donde se ha alimentado la vaca, están presentes en la leche. De los minerales presentes en la leche, el calcio es el más significativo desde el punto de vista nutricional. Está presente en forma abundante y fácilmente asimilable por el organismo (Vélez y Barbosa 1998).

De acuerdo a Vélez y Barbosa (1998), estudios dietéticos han mostrado que las deficiencias de calcio en nuestras dietas son debidas al bajo consumo de leche. Se torna difícil planear una dieta adecuada sin el concurso de productos lácteos.

El tenor de fósforo también es considerable en la leche pero de menor importancia nutritiva que el calcio ya que puede ser proveído por otras fuentes alimentarias comunes. La leche es relativamente pobre en fierro y cobre (Vélez y Barbosa 1998).

2.2.6 ENZIMAS

Son catalizadores biológicos de naturaleza proteica (provista o no de una parte no proteica llamada coenzima o grupo prostético). Las enzimas se encuentran presentes como proteínas simples o como apo proteínas en los complejos lipoprotéicos se encuentran repartidas en

todo el sistema, sobre la superficie del glóbulo graso, asociado a las micelas de la caseína y en forma simple en suspensión coloidal (Vélez y Barbosa 1998).

A pesar del gran número de enzimas presentes en la leche unos pocos revisten especial interés para el bromatólogo. Las más importantes son: fosfatasa alcalina que sirve como indicador de la deficiente pasteurización, lipasa, proteasa y xantinaoxidasas (Vélez y Barbosa 1998).

2.2.7 ACIDEZ

La leche es ligeramente ácida, presentando comúnmente un pH entre 6,5 y 6,7. Es bien tamponado por las proteínas y por las sales minerales, en especial por causa de los fosfatos. La mayor acción tampón se da entre pH 5 y pH 6, es alcanzada en la medida que la leche se va tornando ácida y no por causa de la acidez de la leche fresca. Cuando la leche es calentada, al principio, el pH desciende por la liberación del dióxido de carbono, para luego aumentar por la liberación de iones hidrógeno, cuando el calcio y el fosfato conforman compuestos insolubles. Un equilibrio entre estas dos fuerzas opuestas previene de grandes cambios durante los tratamientos térmicos a que es sometida industrialmente de la leche (Alais 2003).

2.3 VALOR NUTRITIVO DE LA LECHE

2.3.1 VALOR NUTRICIONAL

De acuerdo a Varnam (2001), los investigadores han encontrado que la lactancia materna puede aumentar el desarrollo cognitivo, el desarrollo visual y las habilidades sensoriales de los niños. Los componentes nutritivos de la leche no solo favorecen el buen funcionamiento de los sistemas biológicos del organismo, sino que también ayudan a prevenir o curar ciertas enfermedades. Además de eso, muchos de los componentes responsables por la reputación de la leche como alimento sano, también pueden ser utilizados como ingredientes lácteos por parte de los profesionales que trabajan en el desarrollo de nuevos productos y nuevas tecnologías de producción de alimentos.

Estudios epidemiológicos recientes sugieren que una dieta rica en productos lácteos disminuye el riesgo de contraer una enfermedad cardiovascular. Estos estudios demuestran

que los componentes bioactivos del suero tienen un efecto positivo en la salud cardiovascular. El término bioactividad se refiere a los componentes alimenticios que tienen un efecto en procesos biológicos o sustratos de tales procesos y que tienen un impacto positivo en las funciones del organismo y la salud (Varnam 2001).

Según Varnam (2001) aunque las proteínas bioactivas forman solo una pequeña parte de la proteína total de la leche, ellas están en el centro de un gran número de novedades y nuevas tendencias. Estas proteínas incluyen la lactoferina que une folatos, bien como componentes de bioactividad inducida. Las funciones únicas que estos componentes individuales realizan dentro del sistema de la leche, también pueden ser aprovechadas en otros alimentos.

El consumo de lácteos puede contribuir a la pérdida de peso en niños y adultos obesos, en una reciente investigación clínica se encontró que los que están en dieta y que consumen productos lácteos, pierden alrededor de 70 por ciento más de peso que aquellos que no incluyen alimentos lácteos en sus dietas, en otro estudio se encontró que los adultos jóvenes que consumieron más productos lácteos, estuvieron menos propensos a desarrollar una condición que pudiera conducir a la obesidad, diabetes y enfermedades del corazón (Varnam 2001).

Una de las razones de los efectos benéficos es su excepcional capacidad para servir de vehículo para el calcio, ya que la interacción proteína-mineral potencializa la disponibilidad no solamente de calcio sino también del fósforo. Además de esto la combinación calcio-proteína aumenta la solubilidad del calcio, facilitando el mantenimiento de este mineral en solución. El calcio no es el único aspecto nutritivo en el que se basa la excelente reputación de la leche como alimento sano. Siempre que la leche existe literalmente para fortalecer la salud, el factor digestibilidad tiene gran importancia. Las enzimas presentes en el tracto gastrointestinal humano sirven para degradar las proteínas lácteas con rapidez y facilidad (Varnam 2001).

2.3.2 CALIDAD DE LAS PROTEÍNAS

Desde el punto de vista del valor nutritivo, las proteínas de la leche son de excelentes calidad, proveyendo todos los aminoácidos esenciales para la vida humana; compiten con la calidad

de las proteínas de la carne y solo son superadas ligeramente por las proteínas del huevo que se han constituido en el patrón de la FAO (cuadro 4):

Cuadro 4: Composición de los aminoácidos esenciales de la leche fresca

AMINOÁCIDOS ESENCIALES DE LA LECHE Y LA PROTEÍNA DEL HUEVO (mg/g de proteína)				
<i>Aminoácido Esencial</i>	<i>Proteínas de la Leche Entera</i>	<i>Proteínas del Suero</i>	<i>Caseína</i>	<i>Proteínas del Huevo</i>
Isoleucina	112	117	119	129
Leucina	199	234	179	172
Lisina	168	191	160	125
Fenilalanina	104	82	98	114
Tirosina	106	62	123	81
Metionina	51	35	55	61
Cistina	9	23	6	46
Treonina	89	103	96	99
Triptófano	42	57	33	31
Valina	123	98	140	141

FUENTE: Tomado de DGPA 2005

La principal deficiencia de las proteínas de la leche, pero de relativa importancia secundaria, es su contenido de residuos azufrados, o sea, cistina, cisteína y metionina. Las proteínas de la leche representan una fuente muy rica en lisina. En los productos concentrados como la leche evaporada y algunos tipos de leche en polvo, no es aprovechable una fracción de lisina por interacción de la lactosa y otros componentes de la leche. Paralelamente al desarrollo de la industria láctea, en la alimentación del niño se ha reemplazado de manera gradual la leche de mujer por la leche de vaca. El principal problema que esto origina es la sensibilidad alérgica de las proteínas de leche de vaca. Incluso la desnaturalización de las proteínas séricas por el calor no siempre es eficaz en la modificación de la antigenicidad de los individuos sensibles (DGPA 2005).

a) Valor biológico de las proteínas

Los requerimientos proteicos de un alimento ideal para una especie, están cubiertos por la ingesta de la misma proteína de la que está constituida. En el caso de la nutrición humana, para evaluar la calidad proteica se recurre a animales de laboratorio (bioterio), específicamente ratas, que son mamíferos, omnívoros que poseen una fisiología muy semejante a la humana, lo que nos permite inferir los posibles resultados en el hombre sin

necesidad de experimentar en él. Así las pruebas de NPK y PER son las más difundidas y reconocidas por la *Food and Agriculture Organisation* y la *Food and Drug Administration*. La calidad biológica de proteína de la albúmina del huevo y la caseína de la leche tienen los valores más elevados entre todas las proteínas tanto de origen vegetal como animal, y se emplean como padrón de comparación (Alais 2003).

A pesar de lo anterior, pruebas en el bioterio de la UNALM encontraron que al menos una proteína vegetal, la de la papa, ostenta valores biológicos en su calidad proteica similares a la caseína de la leche, descubrimiento que contribuiría a explicar la sorprendente difusión de la civilización inca en el sur del continente americano, a pesar de no contar con las fuentes proteicas de la leche, carne y huevos proveniente del ganado vacuno, caprino, ovino, equino, porcino y aviar, como son los casos de las civilizaciones del antiguo continente (Zavala 2005).

2.3.3 CALIDAD DE LOS LÍPIDOS

Los lípidos de la leche (triglicéridos) contienen concentraciones relativamente altas de ácidos grasos saturados y bajas de poli-insaturados, esenciales, linoleico y linolénicos. Una opinión muy difundida hoy en día, relaciona el consumo de grasas animales, predominantemente las saturadas, es relacionarla con el desarrollo de la arteriosclerosis. Desde este punto de vista, los índices de colesterol plasmáticos y de β -lipoproteína son altos. Sin embargo, hay muchas facetas de este problema que aún no se han resuelto. Así, parece injusto, en este momento, acusar a la grasa de la leche, verse, como causa principal de la elevada incidencia de arteriosclerosis en nuestra sociedad (Alais 2003).

2.3.4 INTOLERANCIA A LA LACTOSA

Aunque ha sido difícil asignar un papel nutritivo a la lactosa, hay algunas pruebas de que desempeña un importante papel en la absorción de calcio y aminoácidos a través del intestino. Últimamente, han aparecido numerosos artículos referentes a la intolerancia a la lactosa en niños mayores y adultos de raza no-caucásica. Esta intolerancia conduce a una diarrea fuertemente deshidratante y vómitos, y se ha atribuido a que los individuos afectados carecen de lactasa intestinal. Según parece, esta deficiencia es rara entre los caucásicos, la mayoría de los cuales han sido criados con leche de vaca durante generaciones. Es muy

interesante que algunos autores han observado que la intolerancia a la lactosa va asociada a la reacción alérgica a las proteínas de la leche; cuando se elimina la proteína de la leche de la dieta, hay mejoría en la intolerancia a la lactosa (Alais 2003).

De todas formas, muchas de las noticias sensacionalistas que se refiere a este problema son tan solo el resultado de extrapolar los datos obtenidos con dosis de lactosa administradas experimentalmente. Así, pues, no es prudente recomendar que se elimine la leche de la dieta, dado su extraordinario contenido de nutrientes esenciales.

2.3.5 ESTABILIDAD DE LAS VITAMINAS

De acuerdo a Alais (2003), las vitaminas liposolubles de la leche son bastante estables al calor y otros tratamientos. No obstante, se produce importante destrucción de vitamina A y E en presencia de lípidos oxidados o cuando los productos se exponen a la luz. La vitamina C es la más lábil de todas las hidrosolubles. Inicialmente está en forma de ácido L-ascórbico, que se oxida lentamente a ácido dehidroascórbico biológicamente activo, que luego se degrada a ácido dicetoglucónico biológicamente inactivo y otros productos.

Esta transformación la inducen los iones cobre contaminantes o por exposición de a radiaciones luminosas de menos de 500 nm. La riboflavina es también sensible a la oxidación promovida por la luz y participa en la degradación fotodegradativa de otros componentes de la leche, tales como la vitamina C, lípidos y proteínas. Excepto la tiamina, que se destruye aproximadamente en un 50 por ciento durante el calentamiento moderadamente fuerte, para elaborar leche evaporada, las vitaminas B son relativamente termoestables a tratamientos térmicos cortos, como la pasteurización y el UHT (*Ultra High Temperature*), pero no para el caso del tratamiento de la leche evaporada. Se encuentran, en parte, libres y también ligadas a proteínas. En consecuencia, la actividad biológica de las formas ligadas, depende de su liberación en la ingesta (Alais 2003).

2.4 PROCESO DE EVAPORACIÓN DE LECHE

La evaporación es una operación unitaria de las más antiguas y ampliamente usadas en la industria alimentaria para la conservación de jugos, productos lácteos, sopas, jarabes, entre otros; se ha usado para prolongar la vida de anaquel del producto, reducir el volumen o peso

de un producto líquido y así facilitar el transporte, inducir la consistencia y cambio de sabor, incrementar la estabilidad de éstos productos o bien como un paso previo al proceso de secado (Vélez y Barbosa 1998).

En 1822, el inventor Francés, Nicolás Appert dio los primeros pasos para conservar la leche sin afectar sus cualidades y su frescura, evaporando el agua por ebullición en baño maría y en 1829 trabajó al vacío, por lo que se le conoce como el inventor de la leche concentrada. En 1835 el inglés William Newton comprobó que se podía conservar la leche si se le añadía azúcar y por el efecto de vacío se podía calentar a una temperatura menos elevada. En 1855, Gail Borden fundó la primera fábrica de leche condensada azucarada y un año después, recibió la patente en Estados Unidos e Inglaterra por preservar la leche en estado semifluido después de evaporarlo al vacío, y empacarlo en latas herméticamente selladas (Tur-Marí 2005, Farkye y Shakeel 2011).

La evaporación es un proceso que se basa en el calentamiento de un líquido hasta su punto de ebullición para remover el agua como vapor. Los evaporadores utilizados en la industria láctea siempre operan al vacío, esto porque la leche es sensible al calor y una evaporación a 100 °C da lugar a la desnaturalización de las proteínas de la leche, lo que haría al producto no apto para consumo humano, así que para disminuir el daño ocasionado por éste, se puede realizar la evaporación al vacío y lograr así la disminución o reducción del punto de ebullición (Goff 2007).

Aunque la temperatura de ebullición del alimento está dada por la concentración de la leche y la presión hidrostática de la columna del líquido la mayoría de los evaporadores operan con temperaturas en un rango de 45 °C a 70 °C bajo presiones reducidas (Vélez y Barbosa 1998).

Existen diferentes tipos de evaporadores, los evaporadores de un solo efecto, los cuales se utilizan para pequeñas cantidades; evaporadores de superficie raspada, que son muy útiles para fluidos de alta viscosidad porque ayudan a minimizar la deposición de sólidos en la superficie y los evaporadores de múltiple efecto, los cuales son muy usados en la concentración de la leche, jugos de frutas y purés (Vélez y Barbosa 1998). Los evaporadores de película descendente, han sido ampliamente utilizados en la industria láctea.

Los componentes principales de un evaporador son la cámara de condensación y la cámara de evaporación. En la primera, el vapor de agua se transforma en líquido cediendo su calor latente de condensación al alimento que se encuentra en la zona de evaporación. El agua se evapora rápidamente y sale del evaporador, separando así el valor del líquido concentrado (Geosta y López 2003).

La caldera se utiliza para generar el vapor que será necesario para suministrar de energía al evaporador y así alcanzar el punto de ebullición del alimento. Como el vapor utilizado es en grandes cantidades, se puede minimizar esta cantidad utilizando evaporadores de múltiple efectos. Esto significa que existen más de dos unidades, mismas que operan a presiones menores en cada efecto y logran un punto de ebullición más bajo en cada efecto. El vapor que se produce en el primer efecto servirá como medio de calentamiento para el efecto siguiente y así sucesivamente (Geosta y López 2003). Existen varios aspectos del alimento que se deben tomar en cuenta para establecer las condiciones del proceso y seleccionar el equipo de evaporación que se va a utilizar (Vélez y Barbosa 1998).

Durante el proceso de evaporación, la leche sufre cambios en sus propiedades, entre ellos, el pH y la acidez. El pH disminuye aproximadamente 0,3 unidades cuando se remueve la mitad del agua y 0,5 cuando se remueve la tercera parte del agua del producto (Walstra *et al.* 2006). Otras propiedades modificadas de manera importante durante el proceso de evaporación, son el punto de ebullición, las propiedades reológicas, las propiedades térmicas y la densidad.

La leche concentrada por evaporación es la base para elaborar otros productos lácteos, dos de ellos son líquidos: leche condensada azucarada y leche evaporada. El otro es un producto sólido particular de gran estabilidad, es la leche en polvo deshidratada.

2.4.1 LECHE EVAPORADA

La leche evaporada, o leche doblemente concentrada, es un producto esterilizado, de color claro y de apariencia cremosa. Este tipo de leche utilizado en muchos lugares donde no tienen acceso a la leche fresca o refrigerada, como sustituto de la leche materna (con la adición de vitamina D) (Walstra *et al.* 2006).

El contenido es diluido en agua antes del consumo para asemejarse a la leche normal. Sin embargo, en la actualidad, se usan más los productos alternativos, como la leche entera en polvo o la leche recombinaada. Se han desarrollado nuevas alternativas de uso de las leches concentradas, así mismo, su proceso de empaados ha sido modificado. Es por esto que el consumo de las leches concentradas ha disminuido notablemente. Actualmente es utilizada para cocinar o como crema para café. Es elaborado con leche entera, leche desnatada con leche en polvo, grasa de leche anhidra y agua como principales ingredientes (Walstra *et al.* 2006).

Este producto lácteo contiene la misma cantidad de sólidos que la leche pero en un menor volumen de agua (Vélez-Ruiz y Barbosa-Cánovas, 1998). Se caracteriza porque comparado con otros productos lácteos tiene un largo periodo de anaquel a temperatura ambiente (hasta un año), lo cual facilita el manejo y la distribución de esta leche. La preservación de la leche evaporada se debe a que pasa por una esterilización o por ultra pasteurización (UAT) y es empaada en recipiente estéril (Fan 2007).

2.4.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA LECHE EVAPORADA

En la actualidad, en el Perú, las plantas procesadoras de leche evaporada en envases de hojalata se encuentran en Lima, razón por la cual la recepción de leche se hace a través de cisternas adiabáticas las cuales transportan leche entera cruda directamente de los centros de acopio a nivel nacional (anexo 1). Los centros de acopio se encuentran distribuidos en las principales cuencas lecheras del País, como son: Cuenca del Sur, Cuenca de Lima y Cuenca del Norte, y cuentan con sistemas de clarificación y enfriamiento, entre otros.

Adicionalmente es necesario mencionar que debido a los altos costos de transporte, muchas empresas han optado por instalar plantas evaporadoras/concentradoras de leche en zonas cercanas a la cuenca lechera, transportando esta leche a las plantas envasadoras ubicadas en la capital. Por lo tanto es necesario diferenciar dos tipos de recepción de leche: recepción de leche entera cruda y recepción de leche evaporada/concentrada.

Para el caso de la recepción de leche entera cruda, esta consta de una serie de operaciones:

- **Bombeo**

Se utiliza una bomba centrífuga con la finalidad de transportar la leche a través de las tuberías, desde el patio de recepción hasta el tanque de almacenamiento.

- **Clarificación**

Es la higienización de la leche cruda mediante una centrifugadora, que retira las partículas macroscópicas ajenas a la leche.

- **Enfriamiento**

Disminución de la temperatura de la leche recepcionada para prevenir el deterioro de la misma por desarrollo microbiano. La temperatura óptima debe ser de 4 °C.

- **Almacenamiento**

La leche acondicionada es trasvasada a los tanques de almacenamiento respectivos, quedando en espera para su uso. Estos tanques deben estar provistos de agitadores para prevenir la separación de crema por gravedad, así como uniformizar la mezcla de leches de diferentes centros de acopio. La agitación debe ser muy suave para evitar problemas de aireación y formación de espuma.

La leche inicial debe reunir los siguientes requisitos generales:

- La calidad de la leche debe ser óptima
- Es importante controlar la acidez y temperatura de la leche. Esta no debe exceder los 18 grados D ni los 8 °C de temperatura
- El contenido de bacterias esporuladas de la leche ha de ser bajo para poder alcanzar el efecto de esterilización sin emplear temperaturas excesivamente altas durante demasiado tiempo

Con fines de facilitar el entendimiento del proceso de evaporación, se ha dividido esta etapa en cuatro operaciones fundamentales:

a. Pre calentamiento

Es el incremento gradual de la temperatura de la leche desde 4 °C hasta llevarlo a la temperatura de evaporación, mediante el uso de intercambiadores de calor. Esta etapa es de vital importancia para la calidad de la leche evaporada, puesto de que esto depende la estabilidad de las seroproteínas, así como ciertas características reológicas como por ejemplo

la viscosidad. Robinson (1987), menciona que a temperaturas superiores a 80 °C las seroproteínas se desnaturalizan.

Durante este proceso se produce una rotura extensa de la molécula al tiempo que se establecen enlaces disulfuros en forma aleatoria. A 100 °C, tras la desnaturalización de la β -lactoglobulina, se producen interacciones entre ésta y la k-caseína aunque la k-caseína permanezca ligada a la micela. Este fenómeno modifica la estructura superficial de la micela, viéndose afectada la estabilidad de la micela en relación con la acción del calor y de las enzimas. La estabilidad al calor de la leche que ha sido precalentada y mantenida a 90 °C durante algún tiempo antes de elevar la temperatura a 120 °C - 140 °C es significativamente diferente de las leches que han sido rápidamente calentadas, debido a que la reacción entre las proteínas del suero y la k-caseína ha sido más completa.

A parte de la reacción con la k-caseína, las proteínas del suero formarán, por ellas mismas al calentar la leche, geles cuyo origen está basado en el mismo fenómeno de desnaturalización seguido de la formación de enlaces disulfuro intermoleculares, lo que conduce, debido al gran número de residuos cisteinil de las proteínas, a la formación de infinitas redes de moléculas proteicas ligadas.

Los métodos de calentamiento de la leche se basan en los principios de transferencias de calor. Esta transferencia de calor se da por métodos indirectos mediante la utilización de intercambiadores de placas o de tipo tubular. El fluido que va a transferir calor puede ser agua caliente como también leche (transferencia de calor por regeneración). Para los cálculos de las dimensiones de los intercambiadores de calor, consiste en un marco que contiene una serie de placas separadas en secciones para diferentes etapas de precalentamiento, calentamiento y enfriamiento.

Durante el precalentamiento se agregan aditivos alimentarios, tales como carragenina, vitaminas y minerales.

b. Evaporación

La evaporación consiste básicamente en la eliminación del agua de los alimentos líquidos por ebullición. Varnam (2001) indica que es el método más antiguo y el más ampliamente utilizado.

Sin embargo, el proceso es relativamente caro en términos de consumo energético e inevitablemente implica una cierta alteración del producto por el calor. Para reducir estas pérdidas se trabaja a presiones de vacío con lo que se consigue una disminución en la temperatura de ebullición.

- **Objetivos del proceso:**

Fellows (1994) menciona que entre los objetivos de la evaporación se tiene los siguientes:

- La concentración de los alimentos antes de su deshidratación, congelación o esterilización, reduciendo de esta forma su peso y volumen. La evaporación permite un ahorro energético en operaciones de elaboración subsiguientes y reduce los gastos de almacenamiento, transporte y distribución.
- Aumenta el contenido en sólidos totales y mejora su conservación por reducción de su actividad de agua.
- Suministra un producto de uso más cómodo para el consumidor o el fabricante.
- Cambia el aroma y/o el color de los alimentos.

- **Descripción del proceso:**

En la evaporación el calor latente del medio de calentamiento (vapor) se transmite al alimento para aumentar su temperatura hasta el punto de ebullición (calor sensible). La tensión de vapor aumenta y la transmisión de calor latente de vaporización del vapor provoca la formación de burbujas de vapor en el líquido que es finalmente eliminado de la superficie del líquido en ebullición. La velocidad de evaporación se halla determinada por la velocidad de transferencia de calor al alimento y la velocidad de transferencia de masa desde el alimento que está siendo evaporado (Fellows 1994).

- **Factores del Proceso:**

Geankopolis (1995) menciona que las propiedades físicas y químicas de la solución que se está concentrando y del vapor que se separa tienen un efecto considerable sobre el tipo de evaporador que debe usarse y sobre la presión y la temperatura del proceso y discute los siguientes factores:

- **Concentración en el líquido:** Por lo general, la alimentación líquida a un evaporador es bastante diluida, por lo que su viscosidad, bastante baja, es similar a la del agua y se opera con coeficientes de calor bastante altos. A medida que se verifica la evaporación, la solución se concentra y su viscosidad puede elevarse notablemente, causando una marcada disminución del coeficiente de transferencia de calor. Debe existir entonces una circulación y/o turbulencia adecuada para evitar que el coeficiente se reduzca demasiado.
- **Solubilidad:** A medida que se calienta la solución y aumenta la concentración de soluto, se puede exceder el límite de solubilidad del material en solución y se formarán cristales. Esto puede limitar la concentración máxima que puede obtenerse por evaporación de la solución.
- **Sensibilidad térmica de los materiales:** Muchos productos, en especial alimentos y otros materiales biológicos, pueden ser sensibles a la temperatura y degradarse cuando ésta sube o el calentamiento es muy prolongado. La cantidad de degradación es en función de la temperatura y del tiempo.
- **Formación de espumas:** En algunos casos los materiales forman espuma durante la ebullición. Esta espuma es arrastrada por el vapor que sale del evaporador y puede haber pérdidas de material.
- **Presión y temperatura:** El punto de ebullición de la solución está relacionado con la presión del sistema (es directamente proporcional). Además, la temperatura de ebullición también se eleva a medida que aumenta la concentración del material disuelto por acción de la evaporación, este fenómeno se conoce como elevación del punto de ebullición. Para mantener a nivel bajo la temperatura de los materiales termo sensibles suele ser necesario operar a presiones de vacío.
- **Formación de incrustaciones y materiales de construcción:** Algunas soluciones depositan materiales sólidos llamados incrustaciones sobre las superficies de calentamiento. El resultado es una reducción del coeficiente de transferencia de calor, lo que obliga a limpiar el evaporador. La selección de los materiales de construcción del evaporador tiene importancia en la prevención de la corrosión.

c. Sistemas de Evaporación

Para la producción de leche evaporada se puede utilizar una serie de equipos de evaporación, los que se detallan a continuación.

- **Evaporadores tipo marmita:** Son los más simples y antiguos. Consiste en un tanque cilíndrico recubierto por una chaqueta de vapor. La transferencia de calor por unidad de volumen es pequeña y requiere tiempos prolongados de residencia. La transferencia de calor es sólo por convección natural.
- **Evaporadores de circulación natural:** Aquí se aspiran y se comprimen los vapores, mediante un compresor mecánico (bomba de calor) o mediante un compresor de chorro de vapor, una parte de los vapores desprendidos.
- **Evaporadores de placas:** Son de funcionamiento continuo. Se diferencian de los otros evaporadores porque se sustituye el radiador de tubos por un intercambiador de placas. Adicionalmente al intercambiador de placas, se utiliza un separador ciclónico de tipo tambor, separándose aquí el concentrado de los vapores desprendidos.
- **Evaporadores de película descendente:** Consiste en una serie de tubos a través de los cuales desciende el flujo. Los tubos están rodeados por una camisa de calentamiento por vapor y se mantienen a vacío. Normalmente los tubos miden entre 4 y 10 m de altura, aunque con frecuencia pueden alcanzar hasta los 15 m, con un diámetro de 25 – 80 mm. El líquido fluye por gravedad hacia la parte inferior de los tubos. Es importante mantener una alta velocidad de vapor, que depende de la longitud y diámetro de los tubos, la diferencia de temperatura y el nivel de vacío. Las velocidades altas reducen las alteraciones que el calor produce sobre el alimento, ya que aseguran un tiempo de permanencia corto y también aumentan el coeficiente de transmisión de calor y por lo tanto la eficacia térmica del evaporador.

En este sistema cada efecto actúa como un evaporador de efecto simple. En el primer efecto se usa vapor de agua como medio de calentamiento a una temperatura y presión determinada.

El vapor extraído del primer efecto se usa como medio de calentamiento, condensándose en el segundo efecto y vaporizando agua. Para conseguir esto, la temperatura y presión en el segundo efecto deben ser menores. De manera similar, el vapor del segundo efecto condensa al calentar el tercer efecto, trabajándose aquí con temperatura y presión menores al efecto anterior.

Varnam (2001) indica que la recompresión del vapor se utiliza para aumentar la eficacia térmica por encima de lo que sería posible en las plantas convencionales de varios efectos.

Ésta consiste en la compresión de todo o parte del vapor de un efecto para aumentar su temperatura y de este modo recuperar el calor de condensación. El vapor recomprimido se utiliza entonces para calentar el mismo efecto. Cuando se aplica al primer efecto, la capacidad evaporativa del mismo aumenta considerablemente.

El equipo de recompresión puede ser térmico o mecánico. Los sistemas térmicos (TVR) son los más baratos de instalar y su construcción es relativamente sencilla, realizándose la compresión mediante un inyector de vapor. El inyector de vapor actúa como una bomba de calor que utiliza la energía de presión de vapor que conduce el termocompresor. La recompresión mecánica del vapor (MVR) ofrece mayor eficacia térmica ya que se comprime todo el vapor, pero el costo del equipo es mucho mayor. El vapor sobrecalentado, con escasa propiedad de transmitir calor debido a su sequedad, se enfría hasta su punto de saturación por inyección del condensado.

El vapor obtenido por recompresión mecánica presenta la ventaja adicional de que la temperatura máxima de evaporación puede ser de solamente 69 °C y puede utilizarse una temperatura de evaporación de 63 °C, lo que evita el crecimiento de las cepas termófilas de *Bacillus stearothermophilus* y reduce los problemas de transmisión de calor debidos a alta viscosidad del producto. Se necesitan pequeñas cantidades de agua para estabilizar el funcionamiento y para mantener el balance de calor correcto.

Para separar el líquido del vapor se hacen uso de separadores siendo los mayormente utilizados los que funcionan por gravedad. La condensación de vapor y la producción de vacío son aspectos importantes de la planta de evaporación.

d. Homogenización

La leche es una emulsión de aceite en agua, con glóbulos grasos dispersos en una fase continua de leche descremada. La homogenización es un tratamiento mecánico mediante el cual se reduce el tamaño de los glóbulos grasos pasando la leche a alta presión a través de un orificio muy pequeño, de donde resulta una reducción del diámetro promedio, incrementando el área y el número de glóbulos grasos.

Los objetivos de la homogenización son:

- Evitar la formación de cúmulos de grasa en la superficie del envase

- Incrementar la fuerza blanqueante cuando se añade café
- Evitar que se adhiera la grasa a las paredes de los envases, es decir, reducir las pérdidas de grasa

Según Rees (1994), la homogenización influye sobre la leche evaporada de la siguiente manera:

- **Reduce el tamaño de los glóbulos grasos:** Impide de forma eficaz el «cremado» (la formación de nata) de la leche.
- **Modifica la viscosidad, incrementa la viscosidad:** Se cree que esto se debe al aumentarse fuertemente la superficie libre de los glóbulos grasos se adhieren a ellos gran cantidad de partículas de caseína y a que otra gran parte de las partículas de caseína se unen entre sí formando conglomerados.
- **Modifica la estabilidad de las proteínas frente a la acción del calor:** Una presión de homogenización > 20 mPa hace que disminuya la estabilidad de las proteínas frente a la acción del calor.

Los homogenizadores más utilizados en la industria son homogenizadores de dos etapas. La primera etapa varía entre 2000 - 3000 psi de presión. En esta etapa ocurre la homogenización. La segunda etapa tiene dos propósitos principales: el primero, consiste en darle una contrapresión a la primera etapa, dando mejores condiciones para la homogenización; la segunda razón es porque aquí se da el rompimiento de los conglomerados que ocurren luego de la homogenización. La presión de homogenización en esta etapa debe ser el 10 por ciento de la presión de la primera etapa.

e. Enfriamiento y Almacenamiento

Es la reducción de temperatura de la leche evaporada producida, mediante intercambiadores de calor; con el fin de evitar el deterioro por desarrollo de microorganismos de la leche. La temperatura óptima debe ser 4 °C.

La leche evaporada es trasvasada a los tanques de almacenamiento respectivos, quedando en espera para su uso. Al igual que para el caso de la leche entera cruda, los tanques deben estar

provistos de agitadores para poder uniformizar la leche evaporada proveniente del evaporador.

f. Estandarización

Es la operación que consiste en ajustar la composición centesimal de sólidos totales y grasa en la leche evaporada, de acuerdo con la composición centesimal declarada en la etiqueta. En nuestro medio se encuentran distintos tipos de leche, los cuales varían dependiendo de su composición centesimal. Generalmente el por ciento de sólidos totales varía entre 24 - 31 por ciento, y en cuanto a la grasa, ésta varía desde 0,9 - 9 por ciento de grasa.

g. Estabilización

Una operación importante es la estabilización de la leche evaporada frente al tratamiento térmico. La estabilización de la leche se logra mediante la adición de aditivos estabilizadores. En el caso de leche evaporada, se utilizan sales fosfatos, ya sea fosfato monosódico, fosfato disódico y la mezcla de ambos. La proporción de utilización de estos estabilizadores varía dependiendo del tipo de producto, la concentración, el contenido graso, tratamiento térmico o materias primas utilizadas.

h. Envasado

La operación se realiza con maquinaria semi-automática en una sala debidamente acondicionada para evitar la contaminación del producto. Las máquinas selladoras más utilizadas son las que están compuestas por cilindros de llenado, cada cilindro contiene un pistón cuya carrera es regulable proporcionando el volumen requerido para el envase.

i. Esterilización

Pese a haberse sometido la leche evaporada a un proceso de precalentamiento, y por tanto estar casi libre de gérmenes, es absolutamente necesaria esta esterilización posterior. La necesidad de la esterilización se debe a que la leche, en su recorrido hacia la sección de envasado, puede sufrir una nueva recontaminación, debido a que los envases no son estériles y/o a que las formas esporuladas de, por ejemplo, los bacilos y los clostridios sobreviven al tratamiento de precalentamiento.

Se puede presentar un deterioro en el producto final si no se enfría a una temperatura adecuada o se almacena a alta temperatura, esto ocasiona que microorganismos como *bacillus stearothermophilus* se puedan desarrollar (Farkye y Shakeel 2011).

III. DESARROLLO DEL TEMA

En el Fábrica de Leche del Complejo Huachipa de Gloria S.A. (figura 2), las fuerzas que causan el deterioro, tanto físico, químico, enzimático o fisiológico, obedecen a la ecuación de Arrhenius, en función directa con la temperatura, en el trabajo no se entrará en detalles la ecuación de Arrhenius, sólo se tomó como enunciado general.

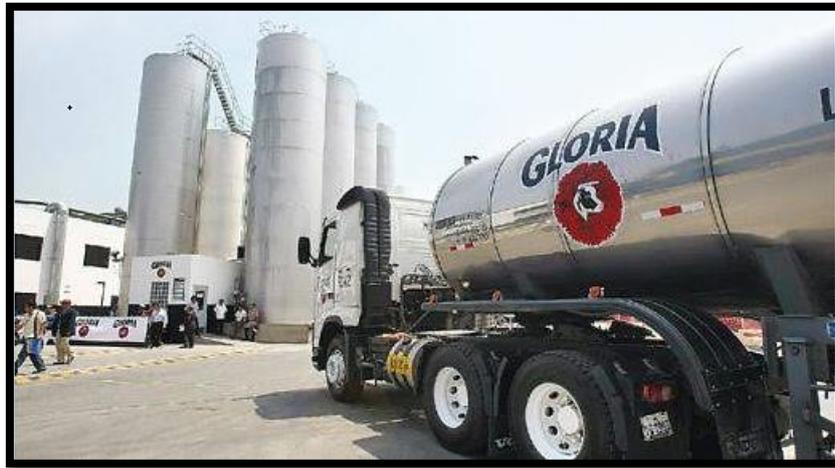


Figura 2: Tanques adiabáticos de leche fresca y evaporada.

3.1 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LA LECHE FRESCA PREVIO A LA PRODUCCIÓN DE LECHE EVAPORADA ENTERA

Mientras la leche se encuentra dentro de la glándulas mamarias de las vaca, se encuentra libre de bacterias, pero tan pronto la leche tiene contacto con el aire, ésta empieza a contaminarse, y si la temperatura es favorable, las bacterias se multiplican rápidamente. El crecimiento de las bacterias en la leche se muestra en la figura 3.

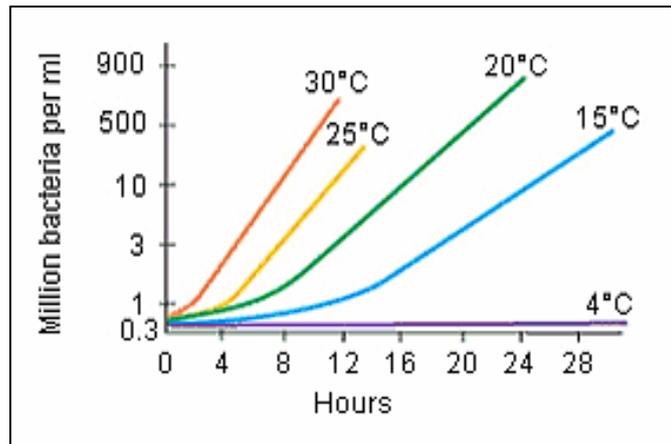


Figura 3: Crecimiento microbiano a diferentes temperaturas vs. horas.

FUENTE: Tomado de MINAGRI 2009

$$N = N_0 \times 2^{t/g}$$

En donde:

- N = Número de bacterias/ml en el tiempo t
- N₀ = Número de bacterias/ml en el tiempo 0
- t = Tiempo de crecimiento en horas
- g = Tiempo de generación en horas

Con un tiempo de generación de 0,5 h, a temperatura óptima de reproducción (temperatura ambiente), una bacteria/ml en la leche puede convertirse en un millón de bacterias (1000 000 bact/ml), esta tasa de reproducción hace que la leche sea un alimento altamente perecedero.

La severidad de los tratamientos térmicos de preservación efectivos para la leche, están en función inversa a su calidad primigenia, determinada por los cuidados que se ha tenido en su producción y ordeño (condiciones sanitarias y de manejo), así como de las condiciones de asepsia y de empleo de la cadena de frío durante el almacenaje intermedio, por ello las leches frescas de acopio son recepcionadas en un tanque pulmón, luego son pasteurizadas y derivadas a tanques adiabáticos con una temperatura menor a 9 °C (figura 4).

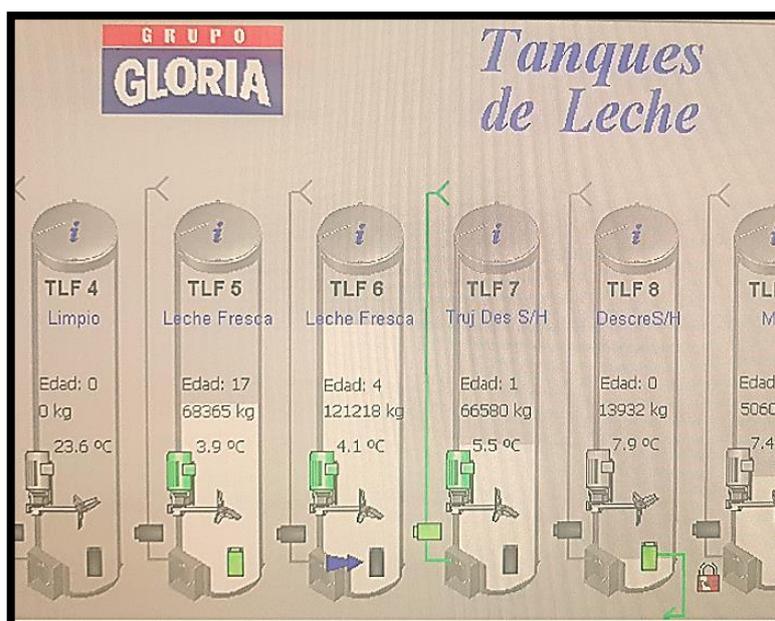


Figura 4: Tanques de almacenamiento de leche fresca.

Evolución en el contenido en microorganismos de la leche cruda durante las 48 y 72 horas de almacenamiento en función de la contaminación inicial, a la temperatura de almacenamiento (cuadros 5 y 6).

Cuadro 5: Evolución en el contenido en microorganismos de la leche cruda durante 72 horas de almacenamiento en función de la contaminación inicial, a la temperatura de almacenamiento

CONDICIONES DE PRODUCCIÓN	TEMP. DE ALMACENAJE (°C)	RECuento ESTÁNDAR POR MILILITRO DESPUÉS DE:			
		RECIÉN ORDEÑADA	24 h	48 h	72 h
Vacas y equipos de ordeño limpios	4,4	4 295	4 315	4 566	8 427
	10	4 295	13 961	127 727	5 725 277
	15,5	4 295	1 587 333	3 3011 111	326 500 000
Vacas y equipos de ordeño poco limpios	4,4	136 533	281 646	538775	749 030
	10	136 533	1 170 546	13662115	25 687 541
	15,5	136 533	24 673 571	639884615	2 407 033 333

FUENTE: Tomado de MINAGRI 2009

Cuadro 6: Evolución en el contenido en microorganismos de la leche cruda durante 48 horas de almacenamiento a 4 °C en función de la contaminación inicial y la velocidad de enfriamiento

CONTAMINACIÓN INICIAL	25000 bact/ml		75000 bact/ml		150000 bact/ml	
	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
Enfriamiento instantáneo	22 000	23 000	79 500	87 750	132 500	188 250
Enfriamiento en 3 horas	23 000	25 000	87 000	101 250	212 500	496 250
Enfriamiento en 5 horas	25 250	30 200	115 500	237 750	273 400	613 800

FUENTE: Tomado de MINAGRI 2009

A menores temperaturas, los alimentos almacenados se conservan mejor y sufren menos deterioro; sin embargo, en la leche cuando se emplean temperaturas de refrigeración inferiores a los 4 °C para su conservación, se desarrollan olores y sabores indeseables por acción de algunos microorganismos psicrófilos que además pueden generar enzimas resistentes al calor, que no se desactivan con los tratamientos térmicos, y si se bajase aún más la temperatura, a niveles de congelación, se daña irreversiblemente la estructura coloidal de la leche (debido a la disminución del agua libre, que concentra ácidos y sales, originando la precipitación de las proteínas al llegar a su punto isoeléctrico), por lo que ésta temperatura de 4 °C, constituye el límite inferior para el empleo correcto del frío en la leche.

Para la conservación de los alimentos es común el empleo de tratamientos térmicos con el objeto de minimizar o eliminar los agentes causantes del deterioro, a fin de extender la vida útil del producto y así añadirle valor agregado y/o para convertirlo en bien transable (caso típico de la leche): lo más acertado es enfriar el producto para disminuir su cinética; si el proceso de deterioro es regido por un agente enzimático, recurrimos a la inactivación de la enzima (que tiene un núcleo proteico termolábil), para bloquear la reacción química catalizada por la enzima; del mismo modo, cuando tenemos un deterioro causado por microorganismos, empleamos el calor para detener su capacidad reproductiva y evitar que se incrementen en número, o en su letalidad, para eliminar toda acción de degradación fisiológica de estas células sobre el alimento.

3.2 EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LA LECHE FRESCA

En Gloria S.A., la leche fresca recepcionada recibe un proceso de higienización y pasteurización para conservarla (para conseguir inactivación de enzimas y muerte térmica

de los microorganismos), sin embargo origina también un daño tecnológico de diferentes magnitudes sobre el valor biológico (proteínas y vitaminas) y sobre las características organolépticas del producto final (color, olor y sabor). Este daño está en función directa con el tiempo y la temperatura a la que se le somete durante el tratamiento térmico originando un descenso de la calidad original de la leche; Por ello se realiza mayores cuidados en producirla (establos, acopios), para reducir la rudeza del tratamiento térmico y así protegerla del deterioro, preservando su calidad inicial.

Las miscelas de caseína (figura 5) y los glóbulos de grasa (figura 6), también sufren modificaciones en su frágil integridad, ya que su estabilidad es determinada por las fuerzas físicas de interacción moleculares que son afectadas por el calor.

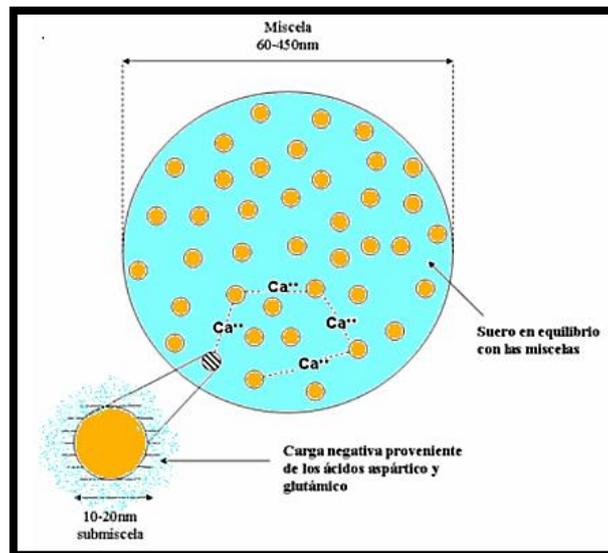


Figura 5: Miscelas de caseína.

FUENTE: Tomado de MINAGRI 2009

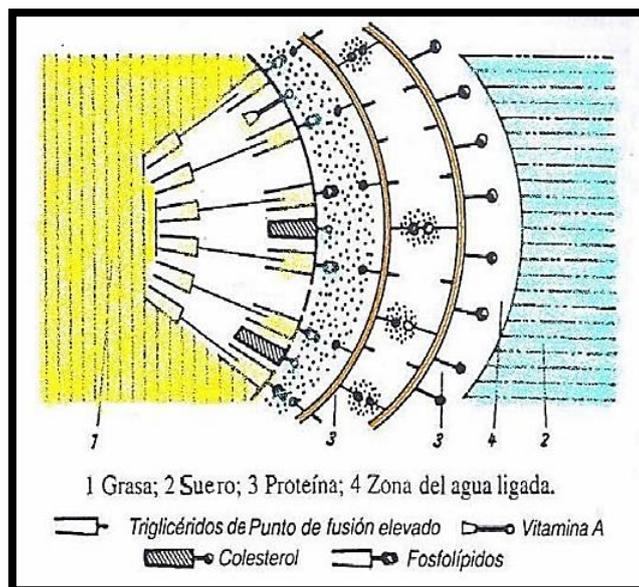


Figura 6: Estructura de un glóbulo de grasa.

FUENTE: Tomado de MINAGRI 2009

Efecto sobre las proteínas. Rees (1994), menciona que el calor puede provocar cambios tanto deseables como no deseables en la calidad nutritiva de las proteínas. La cantidad total de proteína bruta suele aparecer relativamente sin modificar por efecto del tratamiento térmico aunque pueden experimentar la lixiviación hacia el componente líquido de algunos productos.

Fennema (1993), dice que en la mayor parte de los casos, los procesos de industrialización carecen de o apenas si tienen, efectos negativos sobre el valor nutritivo de las proteínas, e incluso en algunas ocasiones lo incrementan. No obstante, a veces se dan reacciones desfavorables, habitualmente en la estructura primaria, con disminución del contenido de aminoácidos esenciales o la formación de derivados anti nutritivos y posiblemente tóxicos. La mayor parte de las toxinas o los factores anti nutritivos de naturaleza proteica, presentes en los alimentos se desnaturalizan bajo la acción del calor. Así sucede con la mayoría de toxinas proteicas producidas por los microorganismos contaminantes.

Ordóñez, citado por Chumbe (2003), señala que las temperaturas de congelación también pueden afectar a las propiedades funcionales de las proteínas, ya que la capacidad de formación de puentes de hidrógeno entre proteínas y agua está reducida mientras que se potencian las interacciones proteína-proteína. Como resultado se observa una disminución

de la capacidad de retención de agua y una mayor precipitación y gelificación de ciertas proteínas.

Sobre el efecto en las vitaminas, Ordóñez, citado por Chumbe (2003); señala que el tratamiento térmico de los alimentos es el principal responsable de la reducción de la actividad de muchas vitaminas; Ante esto, durante la elaboración de la leche evaporada se adiciona las vitaminas y minerales en exceso (más 0,05 por ciento del granel final) que se reducirán durante la esterilización (tratamiento térmico severo) para así garantizar la presencia de las vitaminas y minerales en el producto final a comercializar.

Rees (1994) indica que el calentamiento ligero puede tener efectos beneficiosos sobre la disponibilidad de ciertas vitaminas, particularmente de la biotina y de la niacina. Esto es consecuencia de la inactivación de enzimas y agentes fijadores.

La vitamina C y la tiamina son las más susceptibles a degradación por acción del calor. Ordóñez, citado por Chumbe (2003), expresa que como regla general las vitaminas hidrosolubles, con alguna excepción (por ejemplo la riboflavina), son más termolábiles que las liposolubles y, además, sus pérdidas son superiores por arrastre acuoso. Sin embargo las liposolubles son especialmente inestables frente a la oxidación y a la luz.

Efecto en los minerales, Rees (1994) indica que los minerales son estables ante la mayoría de las condiciones encontradas en la conservación mediante calor, es decir, calor, aire/oxígeno, ácido o álcali. Sin embargo, pueden producirse pérdidas de minerales durante el procesado, especialmente en hortalizas, debido a su lixiviación en el líquido de cobertura. Por el contrario, algunos minerales, por ejemplo el sodio y calcio, pueden ser captados por el alimento de los líquidos de cocción o de cobertura.

Efecto en los carbohidratos, Rees (1994) menciona que los carbohidratos son menos susceptibles que la mayoría de restantes componentes de los alimentos a los cambios químicos que se producen durante el tratamiento térmico.

Ordóñez, citado por Chumbe (2003), indica que dos son las principales transformaciones que tienen lugar: Caramelización y pardeamiento enzimático. Sobre la caramelización nos dice este autor que el calentamiento de los carbohidratos, en especial el de la sacarosa y otros

azúcares reductores, en ausencia de compuestos nitrogenados, da lugar a un conjunto de complejas reacciones conocidas como caramelización. Estas reacciones se ven favorecidas por presencia de ácidos y de ciertas sales.

En términos generales, la termólisis inicial provoca reacciones de deshidratación de los azúcares con la introducción de dobles enlaces y la formación de anillos insaturados. Estos dobles enlaces absorben luz y provocan la aparición de color mientras que los anillos se condensan unos con otros para producir polímeros que poseen color y aroma.

Ordóñez, citado por Chumbe (2003), menciona que bajo la denominación de pardeamiento no enzimático o reacción de *Maillard* se engloban una serie de reacciones muy complejas mediante las cuales, y bajo determinadas condiciones, los azúcares reductores pueden reaccionar con las proteínas y producir una serie de pigmentos de color pardo oscuro y unas modificaciones en el olor y sabor de los alimentos que son deseables en algunos casos e indeseables.

Efecto sobre los lípidos, Rees (1994) expresa que los lípidos, especialmente los lípidos insaturados, son propensos a la oxidación cuando se calientan en presencia de aire u oxígeno. Sin embargo, la oxidación de las grasas en los alimentos procesados puede ser controlada mediante la exclusión o reducción al mínimo del oxígeno y usando antioxidantes, por ello durante el envasado en la fábrica de leche, se retira el oxígeno excedente con vapor antes del cierre hermético en la cerradora (figura 7).



Figura 7: Cerradora de latas - formato *Baby*.

Sobre el efecto en las enzimas, Fennema (1993) expone que los efectos de la temperatura sobre las enzimas son muy complejos; por ejemplo, las temperaturas elevadas pueden afectar al estado de disociación de los grupos funcionales involucrados en la reacción enzimática, a la finalidad de la enzima por activadores o inhibidores y a otras cuestiones secundarias, como la solubilidad del oxígeno, que puede ser uno de los sustratos de la reacción. Además puede ocurrir que la enzima resulta inactivada. De hecho, éste es uno de los objetivos del tratamiento térmico en los alimentos.

En general, las enzimas operan muy lentamente a temperaturas de congelación y su actividad aumenta cuando lo hace la temperatura. La mayor parte de enzimas presenta su actividad óptima en el rango de 30 °C a 40 °C y, por encima de 45 °C, comienza a desnaturalizarse. Tienden también a tener una temperatura de resistencia máxima a la desnaturalización, por lo general claramente por debajo de la máxima actividad.

3.3 CAMBIOS FÍSICOS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EVAPORADA

Las propiedades de los productos lácteos son variadas y abundantes, y deben ser controladas y determinadas para conocer su calidad. Algunas propiedades físicas de la leche y productos lácteos como la densidad, viscosidad y tensión superficial dependen de sus constituyentes, mientras que otros como el índice de refracción y el punto crioscópico, dependen de las sustancias en solución. El pH y la conductividad, dependen únicamente de los iones o de los electrones, como también es el caso de potencial de óxido-reducción (Maza y Legorreta 2011).

La densidad de la leche no tiene un valor constante, puede estar determinada por dos factores opuestos y variables. El primero es la concentración de los elementos disueltos y en suspensión (sólidos no grasos), la variación se da de manera proporcional. El segundo es la proporción de materia grasa, la densidad total de la leche varía inversamente al contenido graso, la densidad a 20 °C es de 1029 kg/m³ (Alais 2003).

El pH tiene una influencia significativa en las propiedades reológicas por la pérdida de repulsión electrostática cerca de los puntos isoeléctricos de la caseína y el suero proteínico. Cuando el contenido de sólidos en la leche es de 45 por ciento, el pH disminuye y la fuerza iónica aumenta conforme se va eliminando el contenido de agua (Bienvenue *et al.* 2003).

Las propiedades o características de la leche también varían conforme al porcentaje de humedad. Entre mayor sea el porcentaje de humedad los valores como grasa y proteína disminuyen. Al reducir el porcentaje de agua que hay en los productos lácteos, por medio de la evaporación, los sólidos totales se concentran, obteniendo así la misma cantidad de sólidos totales pero en un menor contenido de agua. La composición química detallada de la leche entera, las leches condensadas azucaradas y las leches evaporadas se presenta en el siguiente gráfico.

La viscosidad es una propiedad física de los fluidos que está relacionada con la dificultad relativa con la cual una partícula de un fluido puede moverse en relación con las partículas adyacentes. El control de la viscosidad durante el procesamiento y almacenaje es una concentración importante en la producción de productos lácteos. Un espesamiento antes de la coagulación, se presenta en la elaboración y almacenaje de leche evaporada y otros. El espesamiento de la leche precede a la termo-coagulación y se incrementa rápidamente con el aumento de la concentración. La leche evaporada debe ser tratada de modo que el calor la lleve casi a, pero nunca cerca al punto de coagulación; Aquí la reacción de espesamiento produce un cuerpo cremoso deseado, aunque ocurre algún adelgazamiento durante el almacenaje.

La viscosidad aparente de las leches concentradas depende mucho de la cantidad de los sólidos totales, la temperatura, el tratamiento térmico previo y la composición de la leche fresca. La viscosidad aparente disminuye con el incremento de la velocidad de cizalla y sigue un comportamiento de la ley de la potencia (Bienvenue *et al.* 2003).

En el siguiente cuadro se puede apreciar la densidad, la viscosidad aparente y pH de algunos tipos de leche.

Cuadro 7: Comparativo de pH, viscosidad aparente y densidad en tipos de leche

PROPIEDAD	LECHE FRESCA	LECHE DESCREMADA	LECHE EVAPORADA	LECHE CONDENSADA
pH	6,7	6,7	6,2	6,6
Viscosidad aparente (mPa/s)	1,9	1,65	17	60
Densidad (kg/m ³)	1 029	1 035	1 070	1 070

FUENTE: Tomado de Vélez y Barbosa 1998

Fan (2007) evaluó la viscosidad aparente de la leche evaporada (después de tres semanas de almacenamiento) en función de la temperatura (a 20 °C, 30 °C y 40 °C) y la velocidad de cizalla (a 122,3 s⁻¹; 183,4 s⁻¹ y 244,6 s⁻¹), observó que la viscosidad aparente disminuye conforme aumenta la temperatura, a 20 °C es 6,2 mPa/s y tiene un decremento de aproximadamente 2 y 3 unidades a 30 °C y 40 °C. Así mismo, la viscosidad aparente se incrementa la velocidad de cizallamiento, a 20 °C, 30 °C, 40 °C, incrementó un 0,5 mPa/s; 1,0 mPa/s y 1,5 mPa/s, respectivamente.

Existen varias razones por las cuales es necesario conocer la reología de la leche y de los productos derivados, por ejemplo, contribuye al conocimiento de su estructura, sirven para efectuar el control de procesos para diseñar el equipo y los parámetros de proceso que se van a utilizar y ayuda al mejoramiento y caracterización de los atributos organolépticos del producto final (Zavala 2005).

Las propiedades reológicas de un alimento líquido, como lo es en la leche evaporada, es un atributo de calidad que pueden afectar la preferencia del consumidor, ya que hay una estrecha relación entre las propiedades reológicas y sensoriales de un alimento. Chandan (2006) menciona que la viscosidad de los productos lácteos crea la impresión de «riqueza» para el consumidor y que, desde el punto de vista organoléptico, la viscosidad contribuye a la sensación de satisfacción en la boca y la liberación de sabor.

Las propiedades reológicas de muchos alimentos líquidos concentrados tienen cambios durante el almacenamiento causados por la temperatura y la concentración, tal es el caso del jugo de naranja, purés de frutas, jugos de frutas clarificados y extracto de café. Los cambios reológicos durante el almacenamiento de la leche condensada azucarada o la leche evaporada han sido estudiados por algunos autores como Enríquez *et al.* (2011), Fan (2007), y Vélez y Barbosa (1998).

3.4 CAMBIOS QUÍMICOS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EVAPORADA

Durante la producción de leche evaporada en planta, previamente se realiza un desbacterizado y pasteurizado a la leche fresca recepcionada para que posteriormente sirva de insumo para la elaboración de la leche evaporada.

El proceso de pasteurización continuo en la práctica consiste en calentar la leche a 70 °C - 75 °C durante 15 segundos, inactivando o eliminando así los microorganismos potencialmente peligrosos de la leche y las enzimas (no las esporas), aunque preservando la mayoría de sus propiedades nutricionales y organolépticas. Este tratamiento inactiva adicionalmente muchas de las enzimas (lipasas lipolíticas) En la figura 8 se muestra a modo general los principales efectos ocasionados por el tratamiento térmico en la leche.

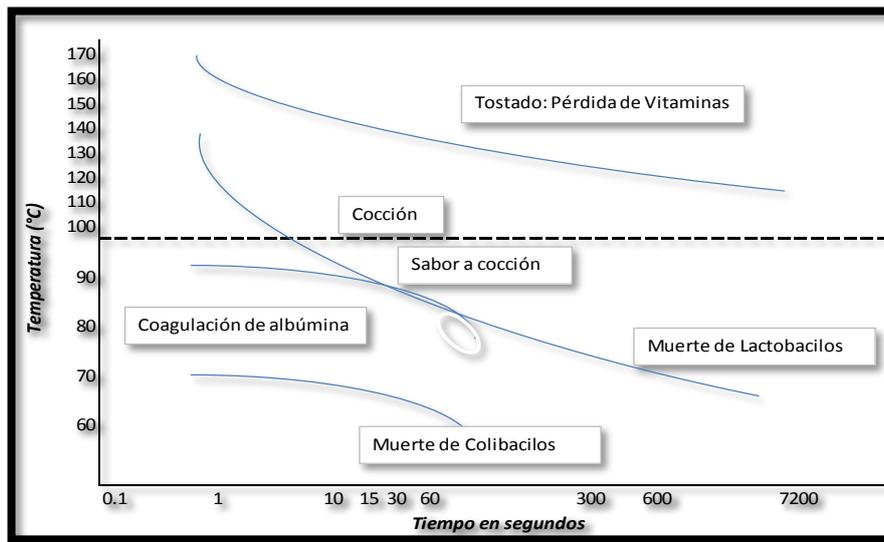


Figura 8: Efecto ocasionado por temperatura en un tiempo de exposición.

FUENTE: Tomado de DGPA 2005

Existen dos principales métodos de pasteurización, el de baja temperatura por largo tiempo (el método antiguo de «pasteurización lenta», 62 °C y 30 minutos de retención) y el de alta temperatura por corto tiempo (HTST; 72 °C por 15 segundos). La leche pasteurizada no es estéril y poseen un periodo de vida inferior a la semana, limitada a temperaturas de refrigeración. Los procesos más severos que la pasterización, producen considerables cambios de los caracteres químicos y físicos de la leche.

Durante la concentración por evaporación, en la elaboración de la leche evaporada, la leche se somete a temperaturas de alrededor 70 °C en una atmósfera enrarecida, con la finalidad de retirarle agua y llevar el producto final a la mitad (Q=2) o a un tercio del volumen original (Q=3). Previo al tratamiento de esterilización de la leche evaporada enlatada, la leche evaporada se somete a la temperatura de 80 grados con la finalidad de destruir las enzimas

y microorganismos patógenos y sobre todo desnaturalizar ligeramente las proteínas para evitar su precipitación posterior dentro de los envases.

Durante la concentración se originan importantes cambios de las propiedades de la leche, entre las cuales son:

- La actividad de agua disminuye
- La hidroscoicidad aumenta
- El equilibrio salino cambia
- La conformación de las proteínas debido a la fuerza iónica cambia
- Varias propiedades fisicoquímicas cambian (se incrementan la presión osmótica, el punto crioscópico, el punto de ebullición, la conductividad eléctrica, la densidad y el índice de refracción; y disminuye la conductividad térmica)
- Se ven afectadas las propiedades reológicas
- El coeficiente de difusión también disminuye
- La acidez titulable aumenta

La acidez de la leche se incrementa con la temperatura parcialmente como resultado de cambios en la capacidad *buffer* de las sales de la leche y la expulsión de CO₂ durante el calentamiento.

La acidez es un parámetro importante para que la leche resista fuertes tratamientos térmicos, por eso la acidez de la leche debe ser baja, porque un cambio pequeño en la acidez (0,05 por ciento) tiene un efecto significativo en la estabilidad térmica y en la tendencia al espesamiento por almacenamiento prolongado (Geosta y López 2003).

El balance salino influye en la termo-estabilidad de las leches concentradas, Sommer y Hart, citados por Walstra *et al.* (2006) demostraron primero que un balance crítico entre los componentes salinos naturales y básicos de la leche parecía necesario para proveer una rápida estabilidad a la termo-coagulación. En la mayoría de los casos una inadecuada resistencia a la coagulación es relacionada con la presencia de un exceso de Ca y Mg. La adición de fosfatos, citratos o carbonatos a la leche mejora su termo-estabilidad apreciablemente. Se asume generalmente que el balance de sales afecta directamente la termo-estabilidad de la caseína, pero este balance puede optar indirectamente en la caseína a través de su efecto en la desnaturalización e interacción con las seroproteínas.

La conformación de las proteínas en la leche evaporada se ve afectada, en donde por concentración imperan altos niveles de proteínas y sales, el complejo caseína-proteína séricas, forman una estructura semejante a un gel, durante el proceso de esterilización comercial en los envases de hojalata, el gel, inducido por la actividad relativamente elevada de los iones calcio, se dispersa por agitación y contribuye a las deseadas características de viscosidad del producto. Si esta es excesiva, la aglomeración puede manifestarse en partículas insolubles en la leche evaporada. En estas circunstancias es necesario acortar el tiempo de esterilización o utilizar métodos para reducir la actividad de los iones calcio. Esto último se consigue mediante un aumento del tratamiento calorífico dado a la leche antes de la concentración y/o por adición de una sal fosfato *estabilizante*.

Para el caso de los alimentos y especialmente la leche, el tratamiento para eliminar el contenido microbiano se denomina esterilidad comercial, donde el producto estéril se define como aquel que está libre de microorganismos que crecerían en condiciones dominantes.

3.5 CAMBIOS NUTRICIONALES EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EVAPORADA

Los efectos térmicos sobre las proteínas pueden dividirse en dos categorías: (a) los que alteran su estructura secundaria, terciaria y cuaternaria y (b) los que alteran su estructura primaria. Los primeros efectos, que despliegan las proteínas, pueden realmente mejorar el valor biológico de una proteína porque los enlaces peptídicos son más accesibles a las enzimas digestivas (figura 9).

La evaporación de la leche a altas temperaturas o la esterilización en latas, pueden causar pérdidas de hasta del 20 por ciento en la reducción de la cantidad de lisina disponible. La esterilización de la leche en latas consigue la destrucción casi completa de bacterias y esporas. Durante el tratamiento térmico de las latas, se las mantiene en movimiento para que las proteínas precipitadas se sometan a una suspensión coloidal.

Sin embargo, la alteración de la estructura primaria puede reducir la digestibilidad y producir residuos no biodisponibles. Los tratamientos térmicos de la leche pueden causar la eliminación de los residuos cistinilo y fosfoserilo formando deshidroalanina.

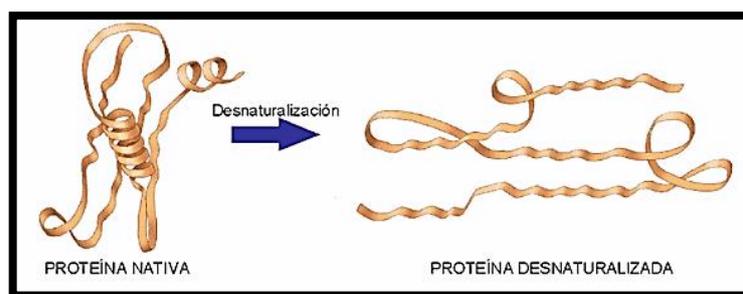


Figura 9: Esquema de la desnaturalización de la proteína.

FUENTE: Tomado de DGPA 2005

Esta sustancia reacciona rápidamente con los residuos lisilo para formar enlaces cruzados de lisoalanina en la cadena proteica. La lisoalanina no está biológicamente disponible y los enlaces cruzados reducen la biodigestibilidad e la proteína.

Además, dichos cambios son particularmente significativos puesto que el valor nutritivo de las proteínas de la leche está limitado por su bajo contenido de aminoácidos sulfurados. Afortunadamente, la pasteurización o procesado UHT no da origen a la formación significativa de residuos lisinoalanilo; no obstante, se producen en la esterilización de las latas y en la ebullición.

Las interacciones proteína-proteína inducidas por el calor, sobre la estructura cuaternaria, pueden ser amplias y complejas. Las proteínas séricas termolábiles interaccionan entre sí, al igual que las micelas de proteína. Se cree que el mecanismo de interacción consiste en un intercambio de bisulfuros, que se inicia a través del grupo sulfhídrico libre de β -lacto globulina.

Además k-caseína contiene una estructura bisulfuro, que sin duda alguna, constituye el grupo reactivo específico del sistema caseínico. Si no hay caseína micelar, las proteínas del suero desnaturalizadas por el calor se agrupan y precipitan ya que las unidades hidrófobas proteicas aseguran la estabilidad.

Durante los tratamientos térmicos severos como la *apertización* de la leche en latas y en la deshidratación de la leche en polvo se originan grandes pérdidas de muchas vitaminas (cuadros 8 y 9). Esto es particularmente importante en el caso de la vitamina B12 debido a

que la leche es una importante fuente de esta vitamina. Las tablas siguientes ilustran las pérdidas en las vitaminas y aminoácidos de la leche pasteurizada, UHT y evaporada:

Cuadro 8: Porcentaje de pérdida de vitaminas de la leche por efecto del procesamiento térmico

LECHE	TIAMINA	VITAMINA B6	VITAMINA B12	ÁCIDO FÓLICO	VITAMINA C
Pasteurizada	< 10	< 10	< 10	< 10	< 25
UHT	< 10	< 10	< 10	< 10	< 25
Evaporada	20	40	80	25	60

FUENTE: Tomado de MINAGRI 2009

Los valores según otra fuente, se aprecian a continuación las pérdidas en las vitaminas y aminoácidos de la leche pasteurizada, UHT, en polvo y evaporada:

Cuadro 9: Porcentaje de pérdida de vitaminas de la leche por efecto del procesamiento térmico proveniente de un estudio americano

MICRONUTRIENTE	PASTEURIZADA	UHT	EN POLVO	EVAPORADA
Vitamina A	0	0	0	0
Tiamina	10	10	10	40
Riboflavina	0	0	0	0
Acido Nicotínico	0	0	0	5
Vitamina B6	0	10	0	40
Vitamina B12	10	10	30	80
Vitamina C	10-25	25	15	60
Ácido Fólico	10	10	10	25
Ácido Pantoténico	0	0	0	0
Biotina	0	0	10	10

a: pasteurización, tratamiento térmico a 71-73 °C durante 15 segundos; b: esterilización *Ultra High Temperature* UHT, tratamiento térmico a 130-150 °C durante 1-4 segundos; c: deshidratación por atomización, tratamiento térmico a 80-90 °C por 10-15 segundos, homogenizada y evaporada a baja presión, pulverizada en una niebla de leche concentrada con aire a 90 °C durante 4-6 segundos. d: evaporada enlatada, tratada térmicamente a 95 °C por 10 minutos, concentrada por evaporación a 50 °C bajo vacío y esterilizada dentro de latas en autoclave por 15 minutos.

FUENTE: Tomado de MINAGRI 2009

La vitaminas A y D no son afectadas por estos tratamientos; el calcio y fósforo solubles sufren ligeros decrementos. Las pérdidas del aminoácido, en el cuadro a seguir, verificados en bio ensayos, indican que la proteína ha sido dañada suficientemente para disminuir la

lisina disponible (cuadro 10), por debajo de los niveles de la metionina y cistina, que son los aminoácidos limitantes:

Cuadro 10: Contenido de lisina total y disponible, en la leche y productos lácteos (g/16 g de nitrógeno)

LECHE	TOTAL	DISPONIBLE
Fresca	8,3	8
Polvo	8	7,9
Evaporada	7,6	6,7

FUENTE: Tomado de MINAGRI 2009

3.6 CAMBIOS SENSORIALES EN LA PRODUCCIÓN DE LA LECHE EVAPORADA

Los tratamientos térmicos a que sometemos la leche después del ordeño, a fin de higienizarla y, originan también un daño tecnológico de diferentes magnitudes sobre el valor biológico (proteínas y vitaminas) y sobre las características organolépticas del producto final (color, olor y sabor). Este daño es función acumulativa del tiempo y de la temperatura a que se le somete históricamente durante el proceso y origina un descenso de la calidad original de la leche: a mayores cuidados en producirla, son menores los requerimientos de rudeza del tratamiento necesarios para protegerla del deterioro, preservando mayor calidad primigenia.

Un cambio en la coloración importante se debe a la Reacción de Maillard, reacción de empardeamiento no enzimático entre los azúcares reductores de la leche y los grupos aminos de las proteínas, la medida de concentración de Hidroxi Metil Furfural (H.M.F.), ha sido propuesta acertadamente como un buen indicador de la intensidad del tratamiento térmico en las leches, que origina cambios en el color, sabor, valor nutritivo, vida útil, propiedades antioxidantes, mutagénicas, anti mutagénicas y funcionales.

Las propiedades reológicas de leche evaporada son atributos de calidad que pueden afectar la preferencia del consumidor, ya que hay una estrecha relación entre las propiedades reológicas y sensoriales de un alimento (Telcioglu y Kayacier 2007). Chandan (2006) menciona que la viscosidad de los productos lácteos crea la impresión de “riqueza” para el consumidor y que, desde el punto de vista organoléptico, la viscosidad contribuye a la sensación de satisfacción en la boca y la liberación de sabor.

Es de vital importancia controlar los parámetros de procesamiento durante la evaporación ya que de no manejarse adecuadamente o con parámetros mal definidos durante el proceso de elaboración, se pueden presentar defectos en el producto final. Los más importantes son el cambio de sabor, coagulación, gelación o engrosamiento, separación de grasa, falta de esterilización, endurecimiento y separación de los minerales (Vélez y Barbosa 1998).

Durante el proceso de esterilización, los componentes termosensibles de la leche evaporada se ven sometidos a varios cambios que pueden ocasionar una pérdida de color y cambiar el producto a un color marrón; así mismo, se puede presentar un cambio de sabor, generando sabor a cocido. El color marrón es el resultado de la reacción de Maillard, lo cual ocurre entre los aminoácidos y la lactosa, azúcar reductor presente en la leche. Las altas temperaturas en la esterilización catalizan la reacción entre los aminoácidos y la lactosa para producir melanoidinas, que son los pigmentos de color marrón que se encuentran presentes en el producto final (Fan 2007).

Comparado con otros productos alimentarios, la leche es muy estable al calor y puede soportar condiciones altas de procesamiento térmico, pero en ciertas condiciones puede ser inestable a los tratamientos térmicos debido a que se puede presentar una coagulación por calor y más aún en productos concentrados, como la leche evaporada y leche condensada azucarada. La caseína no coagula con el calor, a menos que se someta por un largo periodo a altas temperaturas, sin embargo, en la leche evaporada puede coagular por la temperatura a la cual se esteriliza (Brown 2008).

IV. CONCLUSIONES

- Se debe tomar en cuenta desde el principio las propiedades fisicoquímicas de la leche fresca como parámetros críticos de su elaboración y con base a esto monitorearlas.
- El principal cambio físico en la leche evaporada es su viscosidad, esta propiedad reológica es sumamente importante ya que es lo que más caracteriza a este producto, la viscosidad representa un parámetro de calidad esencial en la industria láctea, donde incluso resulta ser requisito de liberación, así como también depende de ella la aceptación o rechazo del cliente.
- El principal cambio químico en la leche evaporada es el aumento de la acidez luego del procesamiento de la leche fresca entera a leche evaporada entera, siendo la causante cambios en la capacidad buffer de la leche y expulsión de CO₂ durante la evaporación.
- El principal cambio nutricional en la leche evaporada es la desnaturalización de la proteína y la reducción de vitaminas importantes en la leche, muchas de estas son adicionadas luego de la evaporación a modo de estandarización.
- El principal cambio sensorial en la leche evaporada la generación del color parduzco generado por la reacción de pardeamiento no enzimático como producto de la reacción de los azúcares reductores de la leche y los grupos aminos de las proteínas.

V. RECOMENDACIONES

- Es recomendable llevar a cabo estudios que investiguen la producción de otros procesos derivados de la leche, tales como el yogurt, sobre todo los productos que pasan por alta temperatura durante su elaboración para así evaluar los porcentajes de la desnaturalización con respecto a la proteína, los compuestos volátiles generados, el porcentaje de vitaminas afectado, aspectos sensoriales, etc.
- Se recomienda realizar un estudio a la grasa láctea que sufre modificaciones durante el procesamiento, y analizar si tienen efectos negativos contra la salud, como por ejemplo enfermedades cardiovasculares.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

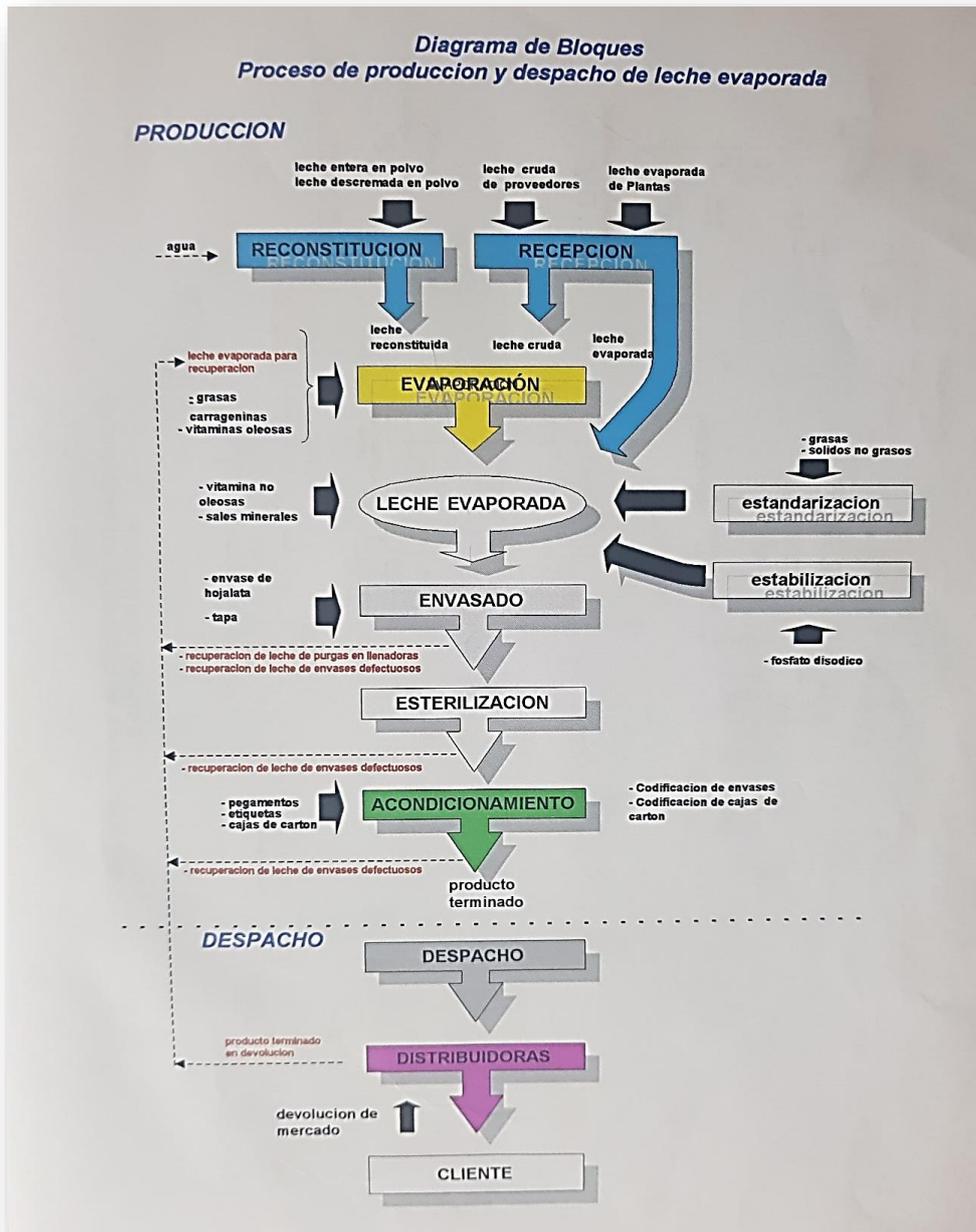
- Alais, C. 2003. Ciencia de la leche: principios de técnica lechera. 4 ed. Barcelona, España, Reverté. 873 p.
- Bienvenue, A; Jiménez-Flores, R; Singh, H. 2003. Rheological properties of concentrated skim milk: importance of soluble minerals. *Journal of Dairy Science* 86(12): 3813-3821.
- Brown, A. 2008. Understanding food: principles and preparation. 3 ed. Belmont, California, Estados Unidos, Thomson-Wadsworth. 654 p.
- Chandan, RC. 2006. Milk composition, physical and processing characteristics. *In* Hui, Y (eds.). Handbook of food products manufacturing. Oxford, Inglaterra, John Wiley.
- Chumbe, JE. 2003. Sistema de producción de leche evaporada en envases de hojalata. Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 34 p.
- DGPA (Dirección General de Promoción Agraria, Perú). 2005. Aspectos nutricionales y tecnológicos de la leche (en línea). Consultado 14 jun. 2017. Disponible en [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/7AE7E7AB111562710525797D00789424/\\$FILE/Aspectosnutricionalesytecnol%C3%B3gicosdelaleche.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/7AE7E7AB111562710525797D00789424/$FILE/Aspectosnutricionalesytecnol%C3%B3gicosdelaleche.pdf).
- Enríquez, B; Camarillo, C; Vélez, J. 2011. Physical properties of concentrated milk and its influence on powder milk characteristics and spray dryer design parameters. *Journals of Food Process Engineering* 36(1): 87-94.
- Fan, E. 2007. Development and characterization of a novel concentrated milk product using membrane filtration technology. Tesis Honor Research. Nueva York, Estados Unidos, Universidad Cornell. p. 39.

- Farkye, N; Shakeel, U. 2011. Concentrated fluid milk ingredients. *In* Chandan, R; Kilara, A (eds.). Dairy ingredients for food processing. Boca Raton, Estados Unidos, Wiley-Blackwell.
- Fellows, P. 1994. Tecnología del procesado de los alimentos: principios y práctica. Zaragoza, España, Acribia.
- Fennema, O. 1993. Química de los alimentos. 1 ed. Zaragoza, España, Acribia.
- Geankoplis, CJ. 1995. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 2 ed. Ciudad de México, México, CECSA.
- Geosta, M; López, A. 2003. Manual de industrias lácteas. Madrid, España, Mundi-Prensa. 436 p.
- Goff, D. 2007. Dairy product processing equipment. *In* Kutz, M (eds.). Handbook of farm dairy and food machinery. Nueva York, Estados Unidos, William Andrew.
- Gómez, M. 2005. Tecnología de lácteos. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 348 p.
- ITINTEC (Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas, Perú). 1981. Proyecto de Norma Técnica 202.001: leche, definiciones. Lima, Perú, ITINTEC.
- Maza, M; Legorreta, P. 2011. Generalidades de la leche y productos lácteos. Ciudad de México, México, Cámara Nacional de Industriales de la Leche.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). 2009. Cambios organolépticos y nutricionales producidos por los tratamientos térmicos durante el procesamiento de la leche (en línea). Consultado 14 jun. 2017. Disponible en <http://infolactea.com/wp-content/uploads/2015/03/366.pdf>.
- Rees, J. 1994. Procesamiento térmico y envasado de los alimentos. Zaragoza, España, Acribia.

- Robinson, RK. 1987. Microbiología lactológica: microbiología de la leche. Zaragoza, España, Acribia. v 1.
- Telcioglu, A; Kayacier, A. 2007. The effect of sweeteners and milk type on the rheological properties of reduced calorie salep milk. African Journal of Biotechnology 6:465-469.
- Tur-Marí, JA. 2005. La leche y los productos lácteos en la historia de la alimentación. Madrid, España, Panamericana.
- Varnam, AH. 2001. Leche y productos lácteos: tecnología, química y microbiología. Nueva York, Estados Unidos, Chapman & Hall.
- Vélez, J; Barbosa, G. 1998. Rheological properties of concentrated milk according to its concentration, temperature and storage over time. Journal of Food Engineering 35(2):177-190.
- Walstra, P; Wouters, J; Geurts, T. 2006. Dairy science and technology. 2 ed. Boca Raton, Estados Unidos, CRC Press.
- Zavala, MJ. 2005. Aspectos nutricionales y tecnológicos de la leche. Lima, Perú, Dirección General de Promoción Agraria. 90 p.

VII. ANEXOS

ANEXO 1: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LECHE EVAPORADA ENTERA



FUENTE: Tomado de Chumbe 2003